

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

---

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 1 9 9 9 年 1 1 月 1 日

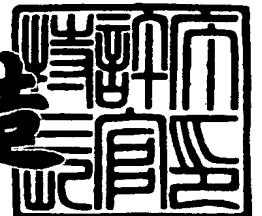
出 願 番 号  
Application Number: 平成 1 1 年 特 許 願 第 3 1 1 2 3 7 号

出 願 人  
Applicant (s): 本田技研工業株式会社

2 0 0 0 年 7 月 2 1 日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 0 - 3 0 5 6 8 4 9

【書類名】 特許願

【整理番号】 E98-135

【提出日】 平成11年11月 1日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B21D 7/06  
B21D 7/12  
B21D 11/14

【発明の名称】 押し通し曲げ加工システム

【請求項の数】 6

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山 1 - 1 0 - 1    ホンダエンジニアリング株式会社内

    【氏名】 武田 謙三

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山 1 - 1 0 - 1    ホンダエンジニアリング株式会社内

    【氏名】 丸山 学

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山 1 - 1 0 - 1    ホンダエンジニアリング株式会社内

    【氏名】 廻 秀夫

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山 1 - 1 0 - 1    ホンダエンジニアリング株式会社内

    【氏名】 影山 善浩

【特許出願人】

    【識別番号】 000005326

    【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100105094

【弁理士】

【氏名又は名称】 山▲崎▼ 薫

【電話番号】 03-5226-0508

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 049618

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9804619

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 押し通し曲げ加工システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 固定型および可動型を相次いで通過する長尺材に曲げ加工を施し長尺製品を作り出す押し通し曲げ加工機と、全体座標系に従って長尺製品の形状を表現する形状データを取得する入力装置と、形状データで規定される長尺製品の三次元像上で長尺製品の断面ごとに設定される局部座標系に基づき可動型の位置を特定する演算処理装置と、特定された可動型の位置に基づき可動型の動きを制御するコントローラとを備えることを特徴とする押し通し曲げ加工システム。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の押し通し曲げ加工システムにおいて、前記演算処理装置は、隣接する局部座標系同士の間で特定される前記長尺製品の軸心回り捻れ角に基づき固定型および可動型の間で確立される軸心回り相対回転角を算出することを特徴とする押し通し曲げ加工システム。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の押し通し曲げ加工システムにおいて、前記演算処理装置は、前記長尺材の送り位置の変化に応じて前記軸心回り回転角の変化を表現する変動曲線を算出することを特徴とする押し通し曲げ加工システム。

【請求項 4】 請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の押し通し曲げ加工システムにおいて、前記演算処理装置は、前記長尺材の送り位置の変化に応じて前記可動型の移動を表現する変動曲線を算出することを特徴とする押し通し曲げ加工システム。

【請求項 5】 請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の押し通し曲げ加工システムにおいて、前記演算処理装置は、前記長尺材の送り位置の変化に応じて前記可動型の姿勢変化を表現する変動曲線を算出することを特徴とする押し通し曲げ加工システム。

【請求項 6】 請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の押し通し曲げ加工システムにおいて、前記演算処理装置は、前記長尺材の送り位置の変化に応じて加工後の長尺材の曲率変化を表現する変動曲線を算出することを特徴とする押し通し曲げ

加工システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、固定型および可動型を相次いで通過する長尺材に、固定型に対する可動型の相対変位を通じて曲げ加工を施すことができる押し通し曲げ加工機に関する。

【0002】

【従来の技術】

一般に、押し通し曲げ加工機は、固定型と、この固定型の前方に配置されて、固定型に対して相対的に変位する可動型とを備える。例えばアルミニウム製形材が固定型および可動型を相次いで通過する間に、形材の進行方向に直交する平面内で可動型が移動すると、形材に曲げ変形（塑性変形）が引き起こされる。こうした押し通し曲げ加工機では、1平面に沿った可動型の移動を通じて、2次元や3次元を問わず様々な曲がり具合の曲げ加工が形材に対して比較的簡単に実現されることができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

一般の工作機と同様に、押し通し曲げ加工機の動作はNC（数値制御）コントローラによって制御されることができる。NCコントローラは、形材の送りや可動型の動きを制御するにあたって、形材の送り位置ごとに特定される可動型の位置を表現する制御データを取得する。こうした制御データでは、一般に、熟練した作業者の勘や経験則に基づき可動型の位置は決定される。こうして決定された可動型の位置に基づき製品の試作が繰り返され、試作が実施されるたびに可動型の位置は修正される。こうした試作が数十回と繰り返される結果、最終的に、所望どおりに曲げ変形を実現することができる可動型の位置は確立される。

【0004】

例えば特開平9-327727号公報や特開平10-166064号公報には、熟練した作業者の勘や経験則に頼らずに可動型の位置を特定する試みが開示さ

れる。これらの試みによれば、最初の試作の段階で大まかに最終形状に似通った試作品が形成されることが出来る。したがって、最初から作業者の勘や経験則に頼る必要はなく、試作や制御データの書き換えに対する労力や手間は軽減される。

#### 【0005】

その一方で、これら公報に開示される方法では、可動型の位置を算出するにあたって三次元座標系のx座標軸が用いられる。このx座標軸によって型材の進行方向すなわち軸心は特定される。可動型の移動平面はこのx座標軸に直交する。しかしながら、実際には、曲げ変形が施された型材の軸心は1本の直線によって画一的に表現されることはできない。したがって、x座標軸に可動型の移動平面を直交させても、可動型の移動平面は必ずしも正確に押し通し曲げ加工機の機械座標系を反映することはできない。その結果、こうした移動平面上で可動型の位置が特定されても、一般的な実用に耐えられる程度まで加工後の形状精度は高められることはできない。

#### 【0006】

本発明は、上記実状に鑑みてなされたもので、高い精度で押し通し曲げ加工を実現することが可能な押し通し曲げ加工システムを提供することを目的とする。

#### 【0007】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明によれば、固定型および可動型を相次いで通過する長尺材に曲げ加工を施し長尺製品を作り出す押し通し曲げ加工機と、全体座標系に従って長尺製品の形状を表現する形状データを取得する入力装置と、形状データで規定される長尺製品の三次元像上で長尺製品の断面ごとに設定される局部座標系に基づき可動型の位置を特定する演算処理装置と、特定された可動型の位置に基づき可動型の動きを制御するコントローラとを備えることを特徴とする押し通し曲げ加工システムが提供される。

#### 【0008】

かかる押し通し曲げ加工システムによれば、長尺製品の断面に設定される局部

座標系では、固定型から前方に延びる長尺製品が再現されることができる。この局部座標系上で長尺製品に対して可動型が仮想的に重ね合わせられると、可動型の位置は局部座標系上で特定されることができる。この可動型の位置は、固定型と可動型との間で形成される長尺製品の曲げ変形を反映したものとなる。こうして特定される可動型の位置に基づき可動型の動きが制御されると、長尺製品の形状を正確に反映した理想的な可動型の移動を実現することが可能となる。

## 【 0 0 0 9 】

前記演算処理装置は、前記長尺材の送り位置の変化に応じて前記可動型の移動を表現する変動曲線を算出してもよい。こうした変動曲線が描き出されると、実際の曲げ加工に先立って押し通し曲げ加工機の動作の実現可能性は判定されることができる。

## 【 0 0 1 0 】

また、前記演算処理装置は、前記長尺材の送り位置の変化に応じて前記可動型の姿勢変化を表現する変動曲線を算出してもよい。こうした変動曲線が描き出されると、同様に、実際の曲げ加工に先立って押し通し曲げ加工機の動作の実現可能性は判定されることができる。

## 【 0 0 1 1 】

さらに、前記演算処理装置は、前記長尺材の送り位置の変化に応じて加工後の長尺材の曲率変化を表現する変動曲線を算出してもよい。こうした変動曲線が描き出されると、作業者は、曲げ変形が加えられる長尺製品の仕上がり形状を予め確認することが可能となる。

## 【 0 0 1 2 】

そうした一方で、前記演算処理装置は、隣接する局部座標系同士の間で特定される前記長尺製品の軸心回り捻れ角に基づき固定型および可動型の間で確立される軸心回り相対回転角を同時に算出してもよい。

## 【 0 0 1 3 】

押し通し曲げ加工機を用いて長尺材に捻れ変形を加えるにあたっては、固定型および可動型のいずれか一方が長尺材の軸心回りで回転すればよい。こうした回転によれば、固定型および可動型の間で長尺材に捻れ変形が引き起こされる。こ



のとき、固定型および可動型の間で確立される軸心回り相対回転角は、例えば固定型および可動型の間で特定される距離と、同様に固定型および可動型の間で軸心方向に分布する軸心回り比捻れ角とに基づき算出されることができる。軸心回り比捻れ角は、隣接する局部座標系同士の間で特定される長尺製品の軸心回り捻れ角に基づき算出されることができる。導き出された軸心回り相対回転角に基づき軸心回りで固定型や可動型の回転が制御されれば、比較的の高い精度で長尺材に捻れ変形を加えることが可能となる。

## 【0014】

この場合には、前記演算処理装置は、前記長尺材の送り位置の変化に応じて前記軸心回り回転角の変化を表現する変動曲線を算出してもよい。こうした変動曲線が描き出されると、実際の捻り加工に先立って押し通し曲げ加工機の動作の実現可能性は判定されることができる。

## 【0015】

前記形状データは、例えばFD（フロッピーディスク）やCD（コンパクトディスク）、DVD（デジタルビデオディスク）といった可搬性の記録媒体を通じて入力装置に取り込まれてもよく、LAN（構内通信網）やWAN（広域通信網）、インターネットといったネットワークを通じて入力装置に取り込まれてもよい。

## 【0016】

## 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照しつつ本発明の一実施形態を説明する。

## 【0017】

図1は押し通し曲げ加工機の全体構成を概略的に示す。この押し通し曲げ加工機10は、長尺材11の前進移動を案内する前後1対の第1および第2型すなわち固定型12および可動型13と、固定型12および可動型13に向かって長尺材11を送り込む送り機構14とを備える。こうした押し通し曲げ加工機10では、後述されるように、長尺材11の進行方向に直交する平面内で可動型13が移動すると、長尺材11に曲げ変形（塑性変形）が引き起こされる。

## 【0018】

送り機構 1 4 は、例えば長尺材 1 1 の後端に接触する押し金すなわちスライダ 1 5 と、送りモータ 1 6 の回転力をスライダ 1 5 の推進力に変換するねじ軸 1 7 とを備える。送りモータ 1 6 の働きを通じてねじ軸 1 7 が順方向に回転すると、その回転に応じてスライダ 1 5 は前進し、ねじ軸 1 7 が逆方向に回転すると、スライダ 1 5 は後退することができる。スライダ 1 5 の前進は長尺材 1 1 の前進を引き起こす。スライダ 1 5 の前進量すなわち長尺材 1 1 の送り量はねじ軸 1 7 の回転量すなわち送りモータ 1 6 の回転量に応じて決定されることができる。送りモータ 1 6 にはいわゆるサーボモータが用いられればよい。

## 【0019】

こうした押し通し曲げ加工機 1 0 では、中実の長尺材や中空の長尺材 1 1 が加工されることができる。中空の長尺材 1 1 は、例えばアルミニウム製の押し出し材すなわち形材や鉄製のパイプ材に代表されることができる。一般に、長尺材 1 1 ではその全長にわたって共通の断面形状が規定される。ただし、断面形状は長尺材 1 1 の全長にわたって常に一定である必要は必ずしもない。

## 【0020】

前述の送り機構 1 4 や固定型 1 2 はいわゆる振り子部材 1 9 に支持される。振り子部材 1 9 の円柱形外周面は、図 2 から明らかなように、半円筒面に沿って配置される軸受け 2 0 を通じて支持台 2 1 に支持される。こうした振り子部材 1 9 の働きによれば、長尺材 1 1 は、固定型 1 2 とともに固定型 1 2 の中心軸 2 2 回りで回転することができる。こうした回転は、後述されるように、例えば長尺材 1 1 の軸心回りで固定型 1 2 と可動型 1 3 との間に相対回転を生み出す。この相対回転は長尺材 1 1 の軸心回りで長尺材 1 1 に捻れ変形を引き起こす。振り子部材 1 9 の回転は、例えばサーボモータで構成される駆動モータ 2 3 の働きを通じて実現されればよい。

## 【0021】

図 2 に示されるように、固定型 1 2 には、長尺材 1 1 の外形を象った貫通孔 2 4 が形成される。この貫通孔 2 4 によって長尺材 1 1 の前進移動は案内される。長尺材 1 1 の断面形状は、図 2 に示される貫通孔 2 4 から明らかなように、円形

や楕円形、三角形その他の多角形といった単純な形状であってもよいばかりでなく、その他の複雑な形状であっても差し支えない。貫通孔 2 4 の形状は長尺材 1 1 の断面形状に合わせ込まれればよい。

#### 【0 0 2 2】

図 2 から明らかなように、中空の長尺材 1 1 が加工される場合には、固定型 1 2 に囲まれる長尺材 1 1 の中空空間には芯金すなわち中子 2 5 が差し込まれることが望ましい。周知のように、こうした押し通し曲げ加工機 1 0 では、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口付近で最も大きな曲げ応力が長尺材 1 1 に作用する。このとき、長尺材 1 1 が中空であると、貫通孔 2 4 の縁で長尺材 1 1 の断面形状が押し潰されることがある。その結果、長尺材 1 1 に対する曲げ変形の変形量に大きな誤差が生じたり長尺材 1 1 の外周面に不要な窪みが形成されたりしてしまう。長尺材 1 1 の内側から中子 2 5 が接触すれば、こうした長尺材 1 1 の押し潰しはできる限り回避されることができる。

#### 【0 0 2 3】

図 1 から明らかなように、中子 2 5 には、中子 2 5 を前後移動させる制御モータ 2 6 が連結される。この制御モータ 2 6 の働きによって中子 2 5 は長尺材 1 1 に対して出し入れされる。しかも、本実施形態では、固定型 1 2 の中心軸 2 2 回りで中子 2 5 を回転させる制御モータ 2 7 が中子 2 5 に連結される。この制御モータ 2 7 は、前述のように振り子部材 1 9 の回転に伴って固定型 1 2 が中心軸 2 2 回りに回転すると、この回転に応じて中子 2 5 を中心軸 2 2 回りに回転させることができる。制御モータ 2 6、2 7 には例えばサーボモータが用いられればよい。

#### 【0 0 2 4】

図 1 および図 3 を参照し、可動型 1 3 には、固定型 1 2 と同様に、長尺材 1 1 の外形を象った貫通孔 2 8 が形成される。この貫通孔 2 8 によって長尺材 1 1 の前進移動は案内される。この貫通孔 2 8 の形状は例えば固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の形状に一致することが望ましい。

#### 【0 0 2 5】

可動型 1 3 は、固定型 1 2 の中心軸 2 2 の延長線に直交する移動平面内で移動

することができる。可動型 1 3 の移動は、例えば上下動部材 2 9 の上下動と水平動部材 3 0 の水平動との組み合わせによって実現される。上下動部材 2 9 は、上下方向すなわち垂直方向に変位自在に水平動部材 3 0 に案内される。同時に、水平動部材 3 0 は、水平方向に変位自在に案内部材 3 1 に支持される。上下動部材 2 9 の変位は例えば上下動モータ 3 2 の働きによって実現されればよく、水平動部材 3 0 の変位は例えば水平動モータ 3 3 の働きによって実現されればよい。例えば、上下動モータ 3 2 や水平動モータ 3 3 は、微小な回転角で回転軸の回転量を制御することができるサーボモータその他の駆動源から構成されればよい。

#### 【 0 0 2 6 】

しかも、この可動型 1 3 は、前述の移動平面でその位置を変えながらその姿勢を変化させることができる。こうした可動型 1 3 の姿勢変化は、垂直方向に延びる回転軸 3 4 が形成された回転部材 3 5 や、水平方向に延びる 1 対の揺動軸 3 6 が形成された揺動部材 3 7 の働きを通じて実現される。上下動部材 2 9 に形成された支持孔 3 8 に回転軸 3 4 が受け止められると、回転部材 3 5 は垂直軸回りで回転することができる。その一方で、回転部材 3 5 に形成される支持孔 3 9 に 2 つの揺動軸 3 6 が受け止められると、揺動部材 3 7 は水平軸回りで揺動することができる。回転部材 3 5 の回転や揺動部材 3 7 の揺動は、個々に、例えばサーボモータで構成される駆動モータ（図示せず）の働きによって実現されればよい。ここでは、揺動軸 3 6 の揺動中心は中心軸 2 2 の延長線上で回転軸 3 4 の回転中心に直交することが望ましい。

#### 【 0 0 2 7 】

図 4 は、以上のような押し通し曲げ加工機 1 0 が組み込まれた押し通し曲げ加工システム 4 1 の全体構成を概略的に示す。この押し通し曲げ加工システム 4 1 では、押し通し曲げ加工機 1 0 の動作は NC（数値制御）コントローラ 4 2 によって制御される。この制御を実現するにあたって、NC コントローラ 4 2 は、例えば図 5 に示されるように押し通し曲げ加工機 1 0 に対して三次元機械座標系  $x y z$  を設定する。この機械座標系  $x y z$  は、例えば固定型 1 2 の中心軸 2 2 に重なり合う  $z$  座標軸と、貫通孔 2 4 の出口が臨む 1 平面上で固定型 1 2 の水平方向および垂直方向をそれぞれ規定する  $x$  座標軸および  $y$  座標軸とを備える。中心軸

2 2 回りで特定される固定型 1 2 の姿勢すなわち軸心回り回転角は機械座標系  $x y z$  に従って指定される  $z$  軸回り回転角  $C$  によって特定されることができる。

#### 【0 0 2 8】

可動型 1 3 の移動平面  $HV$  は、機械座標系  $x y z$  の  $x y$  平面に平行な姿勢に保持されることが望ましい。こうした移動平面  $HV$  の設定によれば、可動型 1 3 の位置は、機械座標系  $x y z$  に従って指定される  $x$  座標値や  $y$  座標値によって簡単に特定されることができる。このとき、可動型 1 3 の  $z$  座標値は、いわゆるアプローチ距離すなわち固定型 1 2 および可動型 1 3 間の距離に基づき特定されればよい。このアプローチ距離は可動型 1 3 の移動に拘わらず一定に保持される。

#### 【0 0 2 9】

例えば可動型 1 3 の移動平面  $HV$  と中心軸 2 2 の延長線（機械座標系  $x y z$  の  $z$  座標軸）との交点は可動型 1 3 の基準位置に設定されることができる。この基準位置に可動型 1 3 が位置決めされると、2 つの貫通孔 2 4、2 8 を相次いで通過する長尺材 1 1 には移動平面  $HV$  に沿った可動型 1 3 の拘束力は加えられない。すなわち、真っ直ぐな長尺材 1 1 は直進し、このとき長尺材 1 1 にはいかなる曲げ変形も引き起こされない。こうして可動型 1 3 の基準位置が特定されると、可動型 1 3 の姿勢は、例えば機械座標系  $x y z$  に従って指定される  $y$  軸（ $V$  軸）回り回転角  $B$  や  $x$  軸（ $H$  軸）回り回転角  $A$  によって特定されることができる。しかも、可動型 1 3 の基準位置が確立されると固定型 1 2 の中心軸 2 2 によって長尺材 1 1 の軸心は特定される。

#### 【0 0 3 0】

再び図 4 を参照し、NC コントローラ 4 2 には、エンジニアリングワークステーション（EWS）やパーソナルコンピュータ（パソコン）といったコンピュータ装置 4 3 で作成された NC 加工プログラムが供給される。この NC 加工プログラムには、例えば長尺材 1 1 の送り位置すなわち送り量ごとに関連付けられた可動型 1 3 の位置や姿勢、軸心回りの固定型 1 2 の姿勢といった制御データが規定される。前述の機械座標系  $x y z$  に従って可動型 1 3 の  $x$  座標値や  $y$  座標値が指定されると、NC コントローラ 4 2 は、そういった  $x$  座標値や  $y$  座標値を確立する水平動モータ 3 3 や上下動モータ 3 2 の回転量を規定する駆動指令値を押し通

し曲げ加工機 1 0 に向けて出力する。機械座標系  $x y z$  に従って可動型 1 3 の  $y$  軸回り回転角  $B$  や  $x$  軸回り回転角  $A$  が指定されると、NC コントローラ 4 2 は、これら回転角を確立する回転部材 3 5 や揺動部材 3 7 の回転を引き起こす駆動モータの駆動指令値を押し通し曲げ加工機 1 0 に向けて出力する。さらに、機械座標系  $x y z$  に従って固定型 1 2 の  $z$  軸回り回転角  $C$  が指定されると、NC コントローラは、この  $z$  軸回り回転角  $C$  を確立する振り子部材 1 9 の回転を引き起こす駆動モータ 2 3 の駆動指令値を押し通し曲げ加工機 1 0 に向けて出力する。

#### 【0 0 3 1】

コンピュータ装置 4 3 には、単一の全体座標系  $X Y Z$  に従って長尺製品の形状を表現する形状データが供給される。こうした形状データは、例えば  $FD$  (フロッピーディスク) 4 4 や  $CD$  (コンパクトディスク) 4 5、 $DVD$  (デジタルビデオディスク)、その他の可搬性記録媒体からコンピュータ装置 4 3 に取り込まれてもよく、 $LAN$  (構内通信網) や  $WAN$  (広域通信網)、インターネットといったネットワーク 4 6 を通じてコンピュータ装置 4 3 に取り込まれてもよい。

#### 【0 0 3 2】

例えばネットワーク 4 6 を通じて形状データがコンピュータ装置 4 3 に取り込まれる場合には、形状データは、サーバコンピュータ 4 7 に構築される製品データベースに蓄積されればよい。製品データベースには、例えば  $CAD$  (コンピュータ支援設計) 用端末 4 8 上で設計された製品の  $CAD$  データが格納されることができる。こうした  $CAD$  データは、前述と同様に、例えば  $FD$  (フロッピーディスク) や  $CD$  (コンパクトディスク)、 $DVD$  (デジタルビデオディスク)、その他の可搬性記録媒体から製品データベースに取り込まれてもよく、無線や有線を問わずネットワーク 4 9 を通じて製品データベースに取り込まれてもよい。

#### 【0 0 3 3】

コンピュータ装置 4 3 は、図 6 に示されるように、例えば  $CAD$  システムを実現する中央演算処理装置 (CPU) 5 1 を備える。この CPU 5 1 には、形状データを CPU 5 1 に受け渡す入出力装置 5 2 が接続される。入出力装置 5 2 は、

例えばネットワーク 4 6 を通じてサーバコンピュータ 4 7 から形状データを取得する。その他、入出力装置 5 2 は、フロッピーディスク駆動装置 (FDD) 5 3 で F D 4 4 から読み出される形状データを取得してもよく、C D - R O M 駆動装置 5 4 で C D 4 5 から読み出される形状データを取得してもよい。

#### 【 0 0 3 4 】

ディスプレイ装置 5 5 は、形状データで表現される長尺製品の二次元像や三次元像のほか、C A D システムを実現するにあたって必要とされるテキストデータといった文字情報を画面上に映し出すことができる。そういった二次元像や三次元像、その他の画像の表示は駆動回路 5 6 の働きによって実現される。駆動回路 5 6 は、C P U 5 1 から受け取る指令に従ってディスプレイ装置 5 5 の画面上に画像を映し出す。

#### 【 0 0 3 5 】

C P U 5 1 は、入出力装置 5 2 から受け取った形状データを管理する形状データ管理モジュール 5 8 を備える。この形状データ管理モジュール 5 8 の働きによれば、形状データで特定される長尺製品の二次元像や三次元像といった画像情報が駆動回路 5 6 に受け渡されることができる。

#### 【 0 0 3 6 】

材料特性データ管理モジュール 5 9 は、長尺材 1 1 の応力歪み曲線といった材料特性を表現する材料特性データを取得する。断面形状特性データ管理モジュール 6 0 は、形状データで特定される長尺製品の断面形状に基づき、断面の重心位置や断面二次モーメント、断面相乗モーメント、断面二次極モーメントといった断面形状特性を算出する。さらに、加工条件データ管理モジュール 6 1 は、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間に規定されるアプローチ距離や長尺材 1 1 の送り速度といった加工条件を表現する加工条件データを取得する。材料特性データを含むデータファイルや、算出された断面形状特性を表現する断面形状特性データを含むデータファイル、加工条件データを含むデータファイルは、入出力装置 5 2 を通じてハードディスク駆動装置 (HDD) 6 2 に格納される。材料特性や加工条件の取得、断面形状特性の算出にあたっては、後述されるように、入出力装置 5 2 に接続されるキーボード 6 3 やマウス (図示せず) の操作が用いられればよ

い。

【 0 0 3 7 】

NCプログラム生成モジュール 6 4 は、HDD 6 2 に格納される各種のデータファイルに基づきNC加工プログラムを作成する。作成されたNC加工プログラムはデータファイルの形で例えばHDD 6 2 に格納される。HDD 6 2 に格納されたNC加工プログラムは、最終的に、入出力装置 5 2 を通じてコントローラ 4 2 に供給される。作成されたNC加工プログラムはディスプレイ装置 5 5 の画面上に表示されることができる。

【 0 0 3 8 】

NCプログラム検証モジュール 6 5 は、NCプログラム生成モジュール 6 4 で作成されたNC加工プログラムを検証する。この検証にあたって、NCプログラム検証モジュール 6 5 は、機械座標系  $x y z$  に従って可動型 1 3 の位置を特定する  $x$  座標値および  $y$  座標値の変動曲線や、機械座標系  $x y z$  に従って可動型 1 3 の姿勢を特定する  $y$  軸回り回転角  $B$  および  $x$  軸回り回転角  $A$  の変動曲線、同様に機械座標系  $x y z$  に従って中心軸 2 2 回りで固定型 1 2 の姿勢を特定する  $z$  軸回り回転角  $C$  の変動曲線を算出する。各変動曲線では、長尺材 1 1 の送り位置の変化に応じて、可動型 1 3 の移動や姿勢変化、固定型 1 2 の姿勢変化すなわち軸心回り回転角の変化が表現される。その他、NCプログラム検証モジュール 6 5 は、長尺材 1 1 の送り位置の変化に応じて加工後の長尺材 1 1 の曲率変化を表現する変動曲線を算出してもよい。こうして算出される変動曲線は、駆動回路 5 6 の働きを借りてディスプレイ装置 5 5 の画面上に描き出されることができる。

【 0 0 3 9 】

NCプログラム生成モジュール 6 4 は、例えば図 7 に示されるように、断面形状特性データで特定される断面の重心位置と、形状データで特定される長尺製品の三次元像とに基づき長尺製品の重心線を生成する重心線抽出モジュール 7 1 を備える。重心線は、長尺製品の全長にわたって各断面で特定される重心の位置を特定する。ノット位置特定モジュール 7 2 は、例えばベジエ曲線や B スプライン曲線、NURBS（非一様有理 B スプライン）曲線といったパラメトリック曲線で表現される重心線上でノットを特定する。ノットの詳細は後述される。



## 【 0 0 4 0 】

局部座標系設定モジュール 7 3 は、重心線上で特定されるノットごとに、長尺製品の三次元像に対して局部座標系すなわち機械座標系  $x y z$  を設定する。この設定にあたって、局部座標系設定モジュール 7 2 は、長尺製品の各断面に各機械座標系  $x y z$  の  $x y$  座標平面を重ね合わせる。

## 【 0 0 4 1 】

第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、長尺製品の各断面に設定された機械座標系  $x y z$  と重心線とに基づき可動型 1 3 の位置や姿勢を特定する制御データを算出する。可動型 1 3 の位置は各機械座標系  $x y z$  に従って  $x$  座標値および  $y$  座標値で特定される。可動型 1 3 の姿勢は各機械座標系  $x y z$  に従って  $y$  軸回り回転角  $B$  および  $x$  軸回り回転角  $A$  で特定される。

## 【 0 0 4 2 】

曲げモーメント算出モジュール 7 5 は、各機械座標系  $x y z$  ごとに特定される可動型 1 3 の位置に基づき各機械座標系  $x y z$  ごとに長尺製品の曲げモーメントを算出する。この算出にあたって、曲げモーメント算出モジュール 7 5 は、材料特性データで特定される長尺材 1 1 の応力歪み曲線を参照する。第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、曲げモーメント算出モジュール 7 5 で算出された曲げモーメントに基づき  $x$  座標値や  $y$  座標値、 $y$  軸回り回転角  $B$ 、 $x$  軸回り回転角  $A$  を補正することができる。

## 【 0 0 4 3 】

第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、隣接する機械座標系  $x y z$  同士の間で特定される長尺製品の軸心回り捻れ角に基づき中心軸 2 2 回りで固定型 1 2 の姿勢を特定する制御データを算出する。固定型 1 2 の姿勢は、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で確立される軸心回り相対回転角すなわち  $z$  軸回り回転角  $C$  で特定される。

## 【 0 0 4 4 】

捻りモーメント算出モジュール 7 7 は、各機械座標系  $x y z$  ごとに特定される軸心回り相対回転角に基づき各機械座標系  $x y z$  ごとに長尺製品の捻りモーメン

ト（捻りトルク）を算出する。この算出にあたって、捻りモーメント算出モジュール 77 は、応力歪み曲線に基づき断面の全体にわたって剪断応力分布を導き出す。第 2 制御データ算出モジュール 76 は、捻りモーメント算出モジュール 77 で算出された捻りモーメントに基づき z 軸回り回転角 C を補正することができる。

#### 【0045】

送り量算出モジュール 78 は、ノット位置特定モジュール 72 で特定されたノットの位置に基づきノットの間隔を算出する。ノットの間隔は、隣接するノット同士の間で重心線に沿って測定されればよい。こうして測定されたノットの間隔に基づき長尺材 11 の送り量すなわち送り位置は決定される。この決定にあたって、送り量算出モジュール 78 は、曲げモーメント算出モジュール 75 で算出される曲げモーメントに基づき送り量を補正する。

#### 【0046】

いま、例えば図 8 に示されるように、均一断面の型材に曲げ変形および捻れ変形が施されて形成される長尺製品 81 が設計された場面を想定する。CAD システム上で設計された長尺製品 81 は CAD データとして製品データベースに格納される。こうした CAD データには、単一の全体座標系 XYZ に従って長尺製品 81 の形状を表現する形状データが少なくとも含まれる。形状データには、例えば長尺製品 81 の断面形状を特定する二次元データと、長尺製品 81 の全長にわたって長尺製品 81 の曲がり具合や捻れ具合を特定する三次元データとが含まれる。長尺製品 81 の曲がり具合や捻れ具合は、各断面で同一の位置を通過する複数本の曲線（例えば稜線）で表現されることができる。こうした二次元データや三次元データは、例えばワイヤフレームモデルやサーフェスモデル、ソリッドモデルといった表現方法に基づき抽出されてもよい。

#### 【0047】

キーボード 63 やマウスの操作に応じて、CPU 51 の形状データ管理モジュール 58 は、製品データベースから長尺製品 81 の形状データを取り込む。取り込まれた形状データに基づき、ディスプレイ装置 55 の画面上には長尺製品 81 の三次元像や断面形状が再現されることができる。取り込まれた形状データはデ

ータファイルの形でHDD 6 2に格納されればよい。

【0 0 4 8】

材料特性データ管理モジュール 5 9 は、ディスプレイ装置 5 5 の画面に表示される誘導に従って、素材となる長尺材 1 1 の応力歪み曲線を入力させる。応力歪み曲線は、例えば、

【数 1】

$$\sigma = C3 \cdot e^3 + C2 \cdot e^2 + C1 \cdot e + C0$$

に従って特定されればよい。このとき、係数 C 3、C 2、C 1、C 0 は、例えば図 9 に示されるように、引っ張り試験で描き出される応力歪み曲線 8 2 に基づき決定される。すなわち、式【数 1】の多項式によれば、応力歪み曲線 8 2 に対する近似曲線 8 3 は導き出される。式【数 1】に示される多項式は、例えば、引っ張り試験で得られた応力歪み曲線 8 2 の最大強度点 8 4 や降伏点 8 5、両者の中間点 8 6 といった 3 点によって簡単に導き出されることができる。操作者は、例えばキーボード 6 3 の操作を通じて、長尺材 1 1 の縦弾性係数（ヤング率）E の数値や、最大強度点 8 4 および降伏点 8 5 並びに中間点 8 6 の応力値および歪み値を入力すればよい。縦弾性係数 E や多項式の各係数 C 3、C 2、C 1、C 0 といった材料特性を表現する材料特性データは HDD 6 2 に格納される。

【0 0 4 9】

断面形状特性データ管理モジュール 6 0 は、例えば図 1 0 に示されるように、ディスプレイ装置 5 5 の働きを借りて長尺製品 8 1 の断面に沿って機械座標系 x y z の x y 座標平面を設定させる。こうした設定には例えばマウス（図示せず）の操作が用いられればよい。このとき、機械座標系 x y z の x 座標軸や y 座標軸の向きは、固定型 1 2 に形成される貫通孔 2 4 の形状すなわち中心軸 2 2 回りの向きに応じて設定される。x y 座標平面の原点（z 座標軸）は断面の重心 G に重ね合わせられることが望ましい。断面形状特性データ管理モジュール 6 0 は、設定された x y 座標平面に基づき、x 軸回りの断面二次モーメント I x や y 軸回りの断面二次モーメント I y、断面相乗モーメント J x y、断面二次極モーメント I p を算出する。

【 0 0 5 0 】

【数 2】

$$I_x = \int_A x^2 dA$$

$$I_y = \int_A y^2 dA$$

$$J_{xy} = \int_A xy dA$$

$$I_p = \int_A (x^2 + y^2) dA = I_y + I_x$$

算出された断面二次モーメント  $I_x$ 、 $I_y$ 、断面相乗モーメント  $J_{xy}$  および断面二次極モーメント  $I_p$  といった断面形状特性を表現する断面形状特性データは HDD 6 2 に格納される。

【 0 0 5 1 】

加工条件データ管理モジュール 6 1 は、例えばディスプレイ装置 5 5 の働きを借りてアプローチ距離や送り速度といった加工条件を表現する加工条件データを取得する。こうした加工条件は例えばキーボード 6 3 の操作を通じて入力されればよい。加工条件を表現する加工条件データは HDD 6 2 に格納される。

【 0 0 5 2 】

こうして形状データや材料特性データ、断面形状特性データ、加工条件データが整えられると、NC プログラム生成モジュール 6 4 は NC 加工プログラムの作成を開始することができる。この NC 加工プログラムの作成にあたって、NC プログラム生成モジュール 6 4 は、長尺製品 8 1 の断面形状を特定する二次元データと、長尺製品 8 1 の曲がり具合や捻れ具合を特定する三次元データとを相互に関連付ける。この関連付けにあたっては例えば GUI (グラフィックユーザインタフェース) が用いられればよい。すなわち、操作者は、図 1 1 に示されるように、ディスプレイ装置 5 5 の画面上に描き出された稜線すなわち第 1 および第 2 ガイド線 8 7 a、8 7 b を指定するとともに、図 1 2 に示されるように、同様に画面上に描き出された断面形状 8 8 に基づき例えば第 1 および第 2 ガイド点 8 9 a、8 9 b を指定する。ただし、各稜線は、断面形状 8 8 の作図過程で利用される角取り以前の頂点によって描き出される。すなわち、各頂点に形成される角取りは無視される。ここでは、指定の順番に従って、第 1 ガイド線 8 7 a と第 1

ガイド点 8 9 a とが相互に関連付けられ、第 2 ガイド線 8 7 b と第 2 ガイド点 8 9 b とが相互に関連付けられる。こうした指定には例えばマウス操作が用いられればよい。

#### 【 0 0 5 3 】

こうして 1 対のガイド線 8 7 a、8 7 b と 1 対のガイド点 8 9 a、8 9 b とが相互に関連付けられると、例えば図 1 3 に示されるように、NC プログラム生成モジュール 6 4 は NC 加工プログラムを生成する。こうした NC 加工プログラムの生成工程の詳細は後述される。生成された NC 加工プログラムは HDD 6 2 に格納される。

#### 【 0 0 5 4 】

こうして生成された NC 加工プログラムに従えば、長尺材 1 1 は一定の送り速度  $F = 6000 \text{ mm/分}$  で固定型 1 2 および可動型 1 3 を通り抜ける。例えば送り位置  $W = -1424.000 \text{ mm}$  が確立されると、可動型 1 3 は、前述の基準位置すなわち移動平面 HV の原点位置から x 座標値  $X = 0.000 \text{ mm}$  および y 座標値  $Y = 0.446 \text{ mm}$  で特定される座標位置に移動する。このとき、可動型 1 3 の姿勢は、y 軸回り回転角  $B = 0.000$  度および x 軸回り回転角  $A = 0.159$  度で特定される。ただし、送り位置 W は、例えば押し通し曲げ加工機 1 0 に長尺材 1 1 がセットされる際に確立されるスライダ 1 5 の最後退位置すなわち加工前の待機位置を基準に規定される。こうした基準で送り位置 W が設定されると、スライダ 1 5 が前進して長尺材 1 1 を送り出すにつれて送り位置 W の z 座標値はマイナス側に減少していく。

#### 【 0 0 5 5 】

続いて長尺材 1 1 が送り位置  $W = -1504.072 \text{ mm}$  に到達すると、可動型 1 3 は、x 座標値  $X = 0.000 \text{ mm}$  および y 座標値  $Y = 4.409 \text{ mm}$  で特定される座標位置に移動する。このとき、可動型 1 3 の姿勢は、y 軸回り回転角  $B = 0.000$  度および x 軸回り回転角  $A = 3.157$  度で規定される姿勢に変化する。例えば長尺材 1 1 が送り位置  $W = -1601.907 \text{ mm}$  に到達すると、可動型 1 3 は、x 座標値  $X = 0.090 \text{ mm}$  および y 座標値  $Y = 8.515 \text{ mm}$  で特定される座標位置に移動する。このとき、可動型 1 3 の姿勢は、y 軸回り

回転角  $B = -0.065$  度および  $x$  軸回り回転角  $A = 6.092$  度で規定される姿勢に変化する。同時に、固定型 1 2 は、中心軸 2 2 回りで回転して  $z$  軸回り回転角  $C = 0.7091$  度で規定される姿勢に変化する。こうして各送り位置  $W$  を通過するたびに、可動型 1 3 は、 $x$  座標値  $X$  や  $y$  座標値  $Y$  で規定される位置に移動しながら、 $y$  軸回り回転角  $B$  や  $x$  軸回り回転角  $A$  で規定される姿勢に変化する。同時に、固定型 1 2 と可動型 1 3 との間には  $z$  軸回り回転角  $C$  で規定される相対回転が確立される。隣接する送り位置  $W$  同士の間では、 $x$  座標値  $X$  および  $y$  座標値  $Y$  や  $y$  軸回り回転角  $B$  や  $x$  軸回り回転角  $A$ 、 $z$  軸回り回転角  $C$  は例えば等速で変化すればよい。

## 【0056】

NC 加工プログラムは、コントローラ 4 2 への供給に先立って NC プログラム検証モジュール 6 5 で検証されることができる。NC プログラム検証モジュール 6 5 は、例えば図 1 4 に示されるように、長尺材 1 1 の各送り位置  $W$  ごとに  $x$  座標値  $X$  や  $y$  座標値  $Y$ 、 $y$  軸回り回転角  $B$  や  $x$  軸回り回転角  $A$ 、 $z$  軸回り回転角  $C$  をプロットする。その結果、 $x$  座標値の変動曲線 9 1 や  $y$  座標値の変動曲線 9 2、 $x$  軸回り回転角  $A$  の変動曲線 9 3、 $y$  軸回り回転角  $B$  の変動曲線 9 4、 $z$  軸回り回転角  $C$  の変動曲線 9 5 は描き出される。描き出された変動曲線 9 1 ~ 9 5 は例えばディスプレイ装置 5 5 の画面上に表示されることができる。

## 【0057】

これら変動曲線 9 1 ~ 9 5 によれば、曲げ加工や捻り加工の実現可能性は判定されることができる。例えば各変動曲線 9 1 ~ 9 5 が滑らかに連続していれば、押し通し曲げ加工機 1 0 は NC 加工プログラムに従って確実に動作することができる。その一方で、変動曲線 9 1、9 2 の変化の度合い（傾き）が上下動部材 2 9 や水平動部材 3 0 の移動速度を超えていれば、押し通し曲げ加工機 1 0 はそういった曲げ加工を実現することはできない。同様に、変動曲線 9 5 の変化の度合い（傾き）が振り子部材 1 9 の回転速度を超えていれば、押し通し曲げ加工機 1 0 はそういった捻り加工を実現することはできない。

## 【0058】

さらに、NC プログラム検証モジュール 6 5 は、長尺材 1 1 の送り位置  $W$  ごと

に加工後の長尺材 1 1 の曲がり具合すなわち曲率を算出してもよい。算出された曲率は、例えば図 1 5 に示されるように、各送り位置 W ごとにプロットされる。その結果、曲率変化を表現する変動曲線 9 6 は描き出される。描き出された変動曲線 9 6 は例えばディスプレイ装置 5 5 の画面上に表示されることができる。こうした変動曲線 9 6 によれば、加工後の長尺材 1 1 の形状を予め大まかに予測することが可能となる。

#### 【 0 0 5 9 】

ここで、NC プログラム生成モジュール 6 4 の動作を詳述する。前述したように、長尺製品 8 1 の断面形状を特定する二次元データと、長尺製品 8 1 の曲がり具合や捻れ具合を特定する三次元データとが相互に関連付けられると、NC プログラム生成モジュール 6 4 では重心線抽出モジュール 7 1 によって長尺製品 8 1 の重心線が特定される。この特定にあたって重心線抽出モジュール 7 1 は、例えば図 1 2 に示されるように、断面に沿って 2 つのガイド点 8 9 a、8 9 b と重心 9 0 との位置関係を取得する。

#### 【 0 0 6 0 】

続いて重心線抽出モジュール 7 1 は、図 1 6 に示されるように、三次元データで規定される 2 つの稜線すなわち第 1 および第 2 ガイド線 8 7 a、8 7 b に対して複数の切断平面 9 7 a ~ 9 7 g を規定する。こうした切断平面 9 7 a ~ 9 7 g の設定にあたっては、第 1 および第 2 ガイド線 8 7 a、8 7 b は各々同数の部分線に等分割されればよい。各切断平面 9 7 a ~ 9 7 g は、部分線の分割点 9 8 a ~ 9 8 g で第 1 および第 2 ガイド線 8 7 a、8 7 b の接線に直交する。各切断平面 9 7 a ~ 9 7 g では、第 1 ガイド線 8 7 a と切断平面 9 7 a ~ 9 7 g とが交差する位置で第 1 ガイド点 8 9 a は特定されることができ、第 2 ガイド線 8 7 b と切断平面 9 7 a ~ 9 7 g とが交差する位置で第 2 ガイド点 8 9 b は特定されることができる。

#### 【 0 0 6 1 】

こうして各切断平面 9 7 a ~ 9 7 g 上で第 1 および第 2 ガイド点 8 9 a、8 9 b の位置が特定されると、重心線抽出モジュール 7 1 は、前述のように 2 つのガイド点 8 9 a、8 9 b と重心 9 0 との位置関係に基づき、切断平面 9 7 a ~ 9 7

g 上で重心 9 0 の位置を特定する。こうして算出された重心 9 0 が順番に連結されていくと、例えば図 1 7 に示されるように、重心線 9 9 は描き出されることができる。重心 9 0 同士を結ぶにあたって曲率の連続性が考慮されれば、滑らかで精度の高い重心線 9 9 が得られることができる。その他、こうして得られる重心線 9 9 の精度を高めるには、重心 9 0 同士の間隔すなわち切断平面 9 7 a ~ 9 7 g 同士の間隔は狭められることが望ましい。重心線 9 9 は長尺製品 8 1 の曲がり具合を表現する。

## 【 0 0 6 2 】

こうした重心線 9 9 は例えばベジエ曲線や B スプライン曲線、NURBS（非一様有理 B スプライン）曲線といったパラメトリック曲線で表現されることができる。こうした表現方法では、例えば図 1 8 に示されるように、曲線 1 0 1 の曲がり具合は複数の制御点 1 0 2、1 0 3 によって規定されることができる。こうした制御点 1 0 2、1 0 3 には、表現される曲線 1 0 1 上で座標値を与えるノット 1 0 2 が必ず含まれる。ノット 1 0 2 の配置は、隣接するノット 1 0 2 間を結ぶ直線 1 0 4 と、表現される曲線 1 0 1 との乖離すなわちトレランス TOL に基づき決定される。トレランス TOL が一定に保持される結果、曲率の大きな曲線 1 0 1 部分ではノット 1 0 2 の間隔は狭められ、反対に曲率の小さな曲線 1 0 1 部分ではノット 1 0 2 の間隔は広げられる。しかも、トレランス TOL が大きくなればノット 1 0 2 の間隔は広げられ、トレランス TOL が小さくなればノット 1 0 2 の間隔は狭められる。

## 【 0 0 6 3 】

こうして重心線 9 9 上でノット 1 0 2 の位置が特定されると、局部座標系設定モジュール 7 3 は、例えば図 1 9 に示されるように、長尺製品 8 1 の三次元形状を特定する全体座標系 X Y Z に、固定型 1 2 を基準に特定される局部座標系すなわち機械座標系 x y z を規定する。こうした機械座標系 x y z は、前述のように重心線 9 9 上で特定されたノット 1 0 2 ごとに規定される断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g を基準に設定されればよい。

## 【 0 0 6 4 】

各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g を特定するにあたって、局部座標系設定モジュール



7 3 は、例えば図 2 0 に示されるように、各ノット 1 0 2 ごとに重心線 9 9 に対して接線ベクトル 1 0 6 を算出する。各ノット 1 0 2 では、この接線ベクトル 1 0 6 が直交する切断平面 1 0 7 が特定されることができる。この切断平面 1 0 7 に描き出される長尺製品 8 1 の断面形状によって各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g は特定されることができる。このとき、固定型 1 2 の貫通孔 2 4 と機械座標系 x y z との位置関係は、例えば図 1 0 に示されるように、断面形状特性データ管理モジュール 6 0 の働きに応じて取得されることができる。

#### 【 0 0 6 5 】

こうしてパラメトリック曲線で表現される重心線 9 9 に従って各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g が特定されると、長尺製品 8 1 の曲率が大きくなればなるほど断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g の枚数は増加し、きめ細かく可動型 1 3 の移動を制御することが可能となる。しかも、トレランス T O L の大きさを意図的に変更すれば、長尺製品 8 1 に要求される寸法精度に応じて断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g の枚数は意図的に変更されることが可能となる。

#### 【 0 0 6 6 】

各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g ごとに機械座標系 x y z が設定されると、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、例えば図 2 1 に示されるように、重心線 9 9 に基づき可動型 1 3 の位置や姿勢を特定する。この特定にあたって、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、まず、機械座標系 x y z 上で固定型 1 2 および可動型 1 3 の間のアプローチ距離 L を特定する。このアプローチ距離 L は、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口と、基準位置に位置決めされた可動型 1 3 との間で固定型 1 2 の中心軸 2 2 方向に沿って測定される。こうしたアプローチ距離 L は加工条件データファイルから取り込まれる。

#### 【 0 0 6 7 】

特定されたアプローチ距離 L に基づき機械座標系 x y z 上には可動型 1 3 の移動平面 H V が規定される。この移動平面 H V を規定するにあたって、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、アプローチ距離 L に基づき機械座標系 x y z 上の z 座標値を規定すればよい。その結果、機械座標系 x y z の x y 平面は z 座標軸に沿ってアプローチ距離 L で平行移動させられる。こうして移動平面 H V が規定さ

れると、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、移動平面 H V と重心線 9 9 との交差点 1 0 8 で x 座標値や y 座標値を算出する。算出された x 座標値や y 座標値によって可動型 1 3 の位置は特定されることができる。こうして特定された可動型 1 3 の位置には、単純に、形状データで特定される長尺製品 8 1 の三次元形状が反映される。

#### 【 0 0 6 8 】

このように機械座標系 x y z に従って可動型 1 3 の x 座標値や y 座標値を取得するにあたっては、長尺製品 8 1 の三次元像が機械座標系 x y z の y z 平面や x z 平面に投影されればよい。例えば図 2 2 に示されるように、長尺製品 8 1 の三次元像が機械座標系 x y z の y z 平面に投影されると、投影された三次元像と移動平面 H V との交差に基づき可動型 1 3 の y 座標値は特定されることができる。このとき、移動平面 H V 上で長尺製品 8 1 の接線方向 1 0 9 が特定されれば、可動型 1 3 の x 軸回り回転角 A が導き出されることができる。図 2 3 に示されるように、長尺製品 8 1 の三次元像が機械座標系 x y z の x z 平面に投影されると、同様に、投影された三次元像と移動平面 H V との交差に基づき可動型 1 3 の x 座標値は特定されることができる。同時に、移動平面 H V 上で長尺製品 8 1 の接線方向 1 1 0 が特定されれば、可動型 1 3 の y 軸回り回転角 B が導き出されることができる。

#### 【 0 0 6 9 】

このとき、曲げモーメント算出モジュール 7 5 は各機械座標系 x y z ごとに長尺材 1 1 に加えられる曲げモーメント M を算出する。この算出にあたって、曲げモーメント算出モジュール 7 5 は、形状データで特定される長尺製品 8 1 の曲率  $1/R$  を取得する。こうした曲率  $1/R$  は例えば各機械座標系 x y z の固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で特定されればよい。こうした曲率半径 R を特定する座標系は、機械座標系 x y z の座標原点と可動型 1 3 の幾何的位置とを含む 1 平面に沿って規定される。

#### 【 0 0 7 0 】

こうして曲率  $1/R$  が特定されると、曲げモーメント算出モジュール 7 5 は、長尺製品 8 1 すなわち加工中の長尺材 1 1 の断面に沿って特定される公称応力分

布  $\sigma(h)$  および公称歪み分布  $e(h)$  を特定する。図 2 4 から明らかなように、公称歪み分布  $e(h)$  は、長尺製品 8 1 すなわち長尺材 1 1 の断面上で曲率半径方向に沿って直線的に変化する。したがって、公称歪み分布  $e(h)$  は、断面上で特定される重心 9 0 および中立軸 1 1 1 の位置に基づき幾何学的に導き出されることができる。すなわち、曲率半径  $R$  で重心線 9 9 が描かれ、断面上で曲率半径方向に沿って重心 9 0 から中立軸 1 1 1 までに乖離量  $\eta$  が特定されると、公称歪み分布  $e(h)$  は、

【数 3】

$$e(h) = \frac{h}{R + \eta}$$

によって表現されることができる。ここで、変数  $h$  は、曲率半径方向に測定される中立軸 1 1 1 からの距離を示す。その一方で、前述の式【数 1】に従えば、公称応力分布  $\sigma(h)$  は、

【数 4】

$$\sigma(h) = C3 \cdot e(h)^3 + C2 \cdot e(h)^2 + C1 \cdot e(h) + C0$$

によって表現されることができる。曲げモーメント  $M$  は、

【数 5】

$$M = \int_{h1}^{h2} \sigma(h) h dA$$

に従って算出されることができる。ここで、係数  $A$  は長尺製品 8 1 すなわち長尺材 1 1 の断面積を示す。

【0 0 7 1】

こうした曲げモーメント  $M$  を特定するにあたって、曲げモーメント算出モジュール 7 5 は乖離量  $\eta$  を算出する。いま、例えば図 2 5 に示されるように、可動型 1 3 で長尺材 1 1 に対して曲げ変形が施されると、可動型 1 3 には曲げ変形の反力で曲率半径方向に荷重  $F$  が作用する。このとき、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口では長尺材 1 1 内で軸方向に軸方向圧縮力  $P_c$  が特定されると、

【数 6】

$$Pc = Fz = F \tan \phi = \frac{M}{L} \tan \phi$$

が得られる。ここで、軸方向圧縮力  $Pc$  は、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で特定される長尺材 1 1 の公称応力分布  $\sigma(h)$  の総和に等しい。したがって、例えば固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で曲率  $1/R$  が特定されると、

【数 7】

$$Pc = \int_{h1}^{h2} \sigma(h) dA$$

は得られる。その一方で、曲げモーメント  $M$  は前述のように式【数 5】で特定されることができることから、式【数 6】に式【数 5】および式【数 7】が代入されると、

【数 8】

$$\int_{h1}^{h2} \sigma(h) dA = \frac{\int_{h1}^{h2} \sigma(h) h dA}{L} \tan \phi$$

は得られる。この式【数 8】が整理されると、

【数 9】

$$\int_{h1}^{h2} \sigma(h) \left(1 - \frac{h}{L} \tan \phi\right) dA = 0$$

は導き出される。

【0 0 7 2】

曲げモーメント算出モジュール 7 5 はこの式【数 9】に従って数値積分を実施する。この数値積分にあたって、曲げモーメント算出モジュール 7 5 は、式【数 9】に、【数 3】および式【数 4】で表現される曲率  $1/R$  と乖離量  $\eta$  との関係を代入する。こうして式【数 3】および式【数 4】が式【数 9】に代入された上で数値積分および収束計算が実施されると、特定された断面上で重心 9 0 から中立軸 1 1 1 までの乖離量  $\eta$  は算出されることができる。

【0 0 7 3】

その他、中立軸 1 1 1 を特定するにあたって、曲げモーメント算出モジュール

7.5 は、例えば図 2.6 に示されるように、実測データに基づき乖離量  $\eta$  を導き出してもよい。この実測データによれば、

【数 1.0】

$$\eta = \alpha H = (K_1 \cdot \tan \phi) H = (K_1 \cdot \tan \phi)(h_2 - h_1)$$

に従って乖離量  $\eta$  は算出されることができる。ここで、係数  $\alpha$  は、各断面で曲率半径方向に測定される長尺材 1.1 の高さ  $H$  ( $= h_2 - h_1$ ) に対する乖離量  $\eta$  の比率すなわち移動率を表す。長尺材 1.1 の高さ  $H$  に移動率  $\alpha$  が掛け合わせられると、中立軸 1.1.1 の乖離量  $\eta$  は算出される。移動率  $\alpha$  を特定するにあたっては、実測データに基づき算出される比例係数  $K_1$  が用いられればよい。

【0.074】

比例係数  $K_1$  を取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材 1.1 が実際に押し通し曲げ加工機 1.0 で加工されればよい。このとき、加工中の可動型 1.3 の傾斜角  $\phi$  や変形後の長尺材 1.1 の長さは実測される。こうして実測された可動型 1.3 の傾斜角  $\phi$  に対して中立軸 1.1.1 の移動率  $\alpha$  がプロットされると、例えば図 2.6 に示される実測データは得られることができる。ここでは、2 種類のアルミニウム材 (JIS 6063-T1 および JIS 6063-T5) に対して傾斜角  $\phi$  は実測された。実測にあたって、各アルミニウム材ごとに断面形状や大きさは変更された。しかも、固定型 1.2 および可動型 1.3 の間で 4 通りのアプローチ距離  $L = 50 \text{ mm}$ 、 $60 \text{ mm}$ 、 $70 \text{ mm}$ 、 $90 \text{ mm}$  が設定された。この実測データによれば、長尺材 1.1 の断面形状や材料特性の違いに拘わらず、乖離量  $\eta$  を算出するにあたって同一の係数  $K_1$  が用いられることができることが明らかとされる。

【0.075】

第 1 制御データ算出モジュール 7.4 は、曲げモーメント算出モジュール 7.5 で算出される曲げモーメント  $M$  を利用して前述の幾何的位置に修正を加え、設計どおりに精度の高い長尺製品 8.1 を生み出す可動型 1.3 の実加工位置を導き出すことができる。こうした実加工位置を導き出すにあたって、第 1 制御データ算出モジュール 7.4 は、例えば図 2.7 に示されるように、長尺材 1.1 の弾性曲げ復元力

すなわちスプリングバックに起因する弾塑性曲げ変形量を特定する。

【0076】

こうした弾塑性曲げ変形量を特定するにあたって、第1制御データ算出モジュール74は、固定型12側貫通孔24の出口と可動型13との間で特定される曲げモーメント分布を利用する。ここでは、こういった曲げモーメント分布には、固定型12側貫通孔24の出口から可動型13までの平均曲げモーメントが用いられる。こうした平均曲げモーメントは、例えば図27から明らかなように、曲げモーメント算出モジュール75で算出された曲げモーメントMの2分の1の値によって特定されることができる。弾塑性曲げ変形量は、例えば次式に従って算出されることができる。

【0077】

【数11】

$$\frac{1}{R_c} = \frac{M}{2EI} + \frac{1}{R}$$

この式【数11】によれば、弾塑性曲げ変形量は、形状データで特定される加工後の長尺製品81の曲率1/Rを実現する際に必要とされる加工中の実曲率1/R<sub>c</sub>すなわち実曲率半径R<sub>c</sub>によって表現される。

【0078】

長尺材11の縦弾性係数Eは前述の断面形状特性データに基づき取得されればよい。その一方で、断面二次モーメントIは、前述のように各断面105a～105gに設定される機械座標系xyzごとに算出されればよい。例えば、前述のように算出されたx軸回りの断面二次モーメントI<sub>x</sub>やy軸回り断面二次モーメントI<sub>y</sub>、断面相乗モーメントJ<sub>xy</sub>が取得されると、次式に従って、曲げ方向を規定する従法線ベクトルb回りで断面二次モーメントI<sub>b</sub>は算出されることができる。

【0079】

【数12】

$$I_b = I_x \cos^2 \theta_{b-x} + I_y \sin^2 \theta_{b-x} + J_{xy} \sin 2\theta_{b-x}$$

ただし、 $\theta_{b-x}$  は、断面形状特性データ管理モジュール 6 0 で設定された機械座標系  $x y z$  の  $x$  座標軸と、各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g ごとに特定される従法線ベクトル  $b$  との間で反時計回りに特定される角度を示す。こうして算出される断面二次モーメント  $I_b$  によれば、長尺材 1 1 の各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g ごとに曲げ方向に応じて適切な断面二次モーメント  $I$  は特定されることができる。

## 【 0 0 8 0 】

実曲率  $1/R_c$  が特定されると、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、実曲率  $1/R_c$  で描き直される重心線 1 1 2 に基づき可動型 1 3 の実加工位置 1 1 3 を特定する。この実加工位置 1 1 3 は、機械座標系  $x y z$  に従って  $x$  座標値や  $y$  座標値で表現されてもよく、重心線 9 9 に基づく幾何的位置 1 1 4 との差分値によって表現されてもよい。

## 【 0 0 8 1 】

一般に、アルミニウム材を始めとする長尺材 1 1 は弾性変形を経て塑性変形に至る。可動型 1 3 から曲げ変形が加えられても、塑性変形に至る歪みが長尺材 1 1 に生じなければ、長尺材 1 1 が可動型 1 3 から解放されると同時に弾性復元力いわゆるスプリングバックに応じて加工後の長尺製品 8 1 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された弾塑性曲げ変形量に応じて可動型 1 3 の実加工位置が特定されれば、そういった弾性復元力いわゆるスプリングバックに起因する長尺製品 8 1 の形状誤差は十分に解消されることができる。特に、そういった弾塑性曲げ変形量は曲げモーメント  $M$  に基づき幾何学的に算出されることから、実測データの収集といった手間をできる限り省くことが可能となる。

## 【 0 0 8 2 】

その他、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、例えば図 2 8 に示されるように、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で長尺材 1 1 の出口回り折れ角量  $\beta$  を特定してもよい。こういった出口回り折れ角量  $\beta$  は、貫通孔 2 4 の出口で生じる弾性折れ変形や塑性折れ変形といった剪断変形や断面変形すなわち窪み 1 1 5 によって引き起こされる。出口回り折れ角量  $\beta$  が特定されると、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、機械座標系  $x y z$  に従って貫通孔 2 4 の出口回りで重心線 9 9 を回転させる。重心線 9 9 は、機械座標系  $x y z$  の座標原点と可動型 1 3 の幾何的

位置とを含む 1 平面に沿って出口回り折れ角量  $\beta$  で回転すればよい。第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、回転した重心線 9 9 と移動平面 H V との交点に基づき可動型 1 3 の実加工位置 1 1 6 を特定する。この実加工位置 1 1 6 は、機械座標系 x y z に従って x 座標値や y 座標値で表現されてもよく、重心線 9 9 に基づく幾何的位置との差分値によって表現されてもよい。

## 【 0 0 8 3 】

特に、中空の長尺材 1 1 では、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で曲げ変形が引き起こされる際に、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で長尺材 1 1 に大きな剪断力が作用する。こういった剪断力は固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で弾性折れ変形や塑性折れ変形といった剪断変形を引き起こす。しかも、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口では長尺材 1 1 に断面変形すなわち窪み 1 1 5 が生じてしまう。こうした窪み 1 1 5 によれば、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で折れ変形は引き起こされる。これら剪断変形や断面変形に起因する折れ変形が引き起こされる結果、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な曲げ変形は引き起こされることはできない。長尺材 1 1 が可動型 1 3 から解放されると同時に折れ変形に応じて加工後の長尺製品 8 1 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された出口回り折れ角量  $\beta$  に応じて可動型 1 3 の実加工位置 1 1 6 が特定されれば、そういった出口回りの折れ角に起因する長尺製品 8 1 の形状誤差は十分に解消されることができる。

## 【 0 0 8 4 】

ここで、出口回り折れ角量  $\beta$  は、例えば図 2 9 に示されるように、実測データに基づき特定されればよい。この実測データによれば、

【数 1 3】

$$\beta = K 2 \frac{M}{EI}$$

に従って出口回り折れ角量  $\beta$  [°] は算出されることができる。ここで、係数 K 2 は、実測データに基づき算出される比例係数を示す。



## 【 0 0 8 5 】

こうした実測データを取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材 1 1 が実際に押し通し曲げ加工機 1 0 で加工されればよい。このとき、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で長尺材 1 1 の形状は実測される。こうした実測によって曲げ変形の曲率は明らかとされる。例えば図 2 8 から明らかのように、曲げ変形の曲率半径  $R_d$  を導き出すにあたって、少なくとも 3 点の計測点 1 1 7 が選択されればよい。

## 【 0 0 8 6 】

こうして固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で長尺材 1 1 の曲げ変形を表現する曲線 1 1 8 が特定されると、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で曲線 1 1 8 に対する接線 1 1 9 が描き出される。この接線 1 1 9 と機械座標系  $x y z$  の  $z$  座標軸との角度によって出口回り折れ角量  $\beta$  は特定されることができる。こうして実測された出口回り折れ角量  $\beta$  が係数  $M/EI$  に対してプロットされると、図 2 9 に示される実測データは得られることができる。ここでは、3 種類のアルミニウム材 (JIS 6063-O、JIS 6063-T1 および JIS 6063-T5) に対して出口回り折れ角量  $\beta$  は実測された。実測にあたって、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で 3 通りのアプローチ距離  $L = 60\text{ mm}$ 、 $90\text{ mm}$ 、 $133\text{ mm}$  が設定された。この実測データによれば、長尺材 1 1 の断面形状や材料特性の違いに拘わらず、出口回り折れ角量  $\beta$  を算出するにあたって同一の係数  $K_2$  が用いられることができることが明らかとされる。

## 【 0 0 8 7 】

同様に、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、例えば図 3 0 に示されるように、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で長尺材 1 1 の断面変形すなわち窪み 1 1 5 に起因する断面変形量  $d_1$  を同時に特定してもよい。特定された断面変形量  $d_1$  は、曲率半径方向すなわち曲げ方向に沿って前述の幾何的位置に加えられればよい。こうして幾何的位置に断面変形量  $d_1$  が加えられると、可動型 1 3 の実加工位置は特定されることができる。この実加工位置は、前述と同様に、機械座標系  $x y z$  に従って  $x$  座標値や  $y$  座標値で表現されてもよく、重心線 9 9 に基づく幾何的位置との差分値によって表現されてもよい。

## 【 0 0 8 8 】

特に、中空の長尺材 1 1 では、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で曲げ変形が引き起こされる際に、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で断面変形が生じてしまう。こうした断面変形には、前述の窪み 1 1 5 のほか、曲率半径方向に沿った断面の潰れなどが含まれる。こうした断面変形が引き起こされている間に可動型 1 3 が移動しても、長尺材 1 1 には十分な塑性曲げ変形は生じることはない。したがって、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な曲げ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品 8 1 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された断面変形量  $d 1$  に応じて可動型 1 3 の実加工位置が特定されれば、そういった断面変形に起因する長尺製品 8 1 の形状誤差は十分に解消されることができる。

## 【 0 0 8 9 】

ここで、断面変形量  $d 1$  は、例えば図 3 1 に示されるように、実測データに基づき特定されればよい。この実測データによれば、

## 【数 1 4】

$$d 1 = K 3 \cdot F = K 3 \frac{M}{L}$$

に従って断面変形量  $d 1$  [mm] は算出されることができる。ここで、係数  $K 3$  は、実測データに基づき算出される比例係数を示す。

## 【 0 0 9 0 】

こうした実測データを取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材 1 1 が実際に押し通し曲げ加工機 1 0 で加工されればよい。このとき、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で長尺材 1 1 の断面形状は実測される。こうして実測された断面変形量  $d 1$  が荷重  $F$  に対してプロットされると、図 3 1 に示される実測データは得られることができる。ここでは、2 種類のアルミニウム材（J I S 6 0 6 3 - T 1 および J I S 6 0 6 3 - T 5）に対して断面変形量  $d 1$  は実測された。実測にあたって、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で 3 通りのアプローチ距離  $L = 6 0 \text{ mm}$ 、 $9 0 \text{ mm}$ 、 $1 3 3 \text{ mm}$  が設定された。この実測データによれば、長尺材 1 1 の断面形状や材料特性の違いに拘わらず、断面変

形量 d 1 を算出するにあたって同一の係数 K 3 が用いられることができることが明らかとされる。

#### 【0091】

さらに、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、例えば図 3 2 に示されるように、固定型 1 2 および可動型 1 3 に対する長尺材 1 1 のクリアランス量 d 2 すなわちガタに起因するクリアランス量を特定してもよい。特定されたクリアランス量 d 2 は、曲率半径方向すなわち曲げ方向に沿って前述の幾何的位置に加えられればよい。こうして幾何的位置にクリアランス量 d 2 が加えられると、可動型 1 3 の実加工位置は特定されることができる。この実加工位置は、前述と同様に、機械座標系 x y z に従って x 座標値や y 座標値で表現されてもよく、重心線 9 9 に基づく幾何的位置との差分値によって表現されてもよい。

#### 【0092】

クリアランス量 d 2 [mm] は実測値に基づき特定されればよい。実測値を取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさに特定される長尺材 1 1 が実際に押し通し曲げ加工機 1 0 で加工されればよい。このとき、可動型 1 3 が移動し始めてから、長尺材 1 1 が固定型 1 2 側貫通孔 2 4 に接触するまでに可動型 1 3 の移動距離は測定される。こうして測定された移動距離によってクリアランス量 d 2 は特定されることができる。例えばクリアランス量 d 2 は長尺材 1 1 の寸法公差の大きさに応じて分類されることが望ましい。すなわち、クリアランス量 d 2 の実測に先立って長尺材 1 1 の外形寸法は実測される。実測された外形寸法ごとに長尺材 1 1 のクリアランス量 d 2 は実測される。

#### 【0093】

一般に、長尺材 1 1 の寸法精度には所定範囲の公差すなわちばらつきが許容される。こういった公差に拘わらず固定型 1 2 や可動型 1 3 の貫通孔 2 4、2 8 に対して長尺材 1 1 を確実に通過させるには、長尺材 1 1 の設計寸法と貫通孔 2 4、2 8 の寸法との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。たとえ公差が存在しなくても、固定型 1 2 や可動型 1 3 の貫通孔 2 4、2 8 に対して長尺材 1 1 をスムーズに通過させるには、長尺材 1 1 の外形と貫通孔 2 4、2 8 の内面との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。こうしたクリア

ランスが解消されて固定型 1 2 や可動型 1 3 が完全に長尺材 1 1 に接触するまで、可動型 1 3 が移動しても長尺材 1 1 には実質的に曲げ変形は生じることはない。したがって、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な曲げ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品 8 1 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出されたクリアランス量  $d_2$  に応じて可動型 1 3 の実加工位置が特定されれば、そういったクリアランスすなわちガタに起因する長尺製品 8 1 の形状誤差は十分に解消されることができる。ただし、実加工位置を特定するにあたって使用されるクリアランス量  $d_2$  は、固定型 1 2 および可動型 1 3 で生じる 2 つのクリアランス量の総和を表現する必要がある。

## 【0094】

こうした一方で、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g に設定される機械座標系  $x y z$  に基づき固定型 1 2 の中心軸 2 2 回りの姿勢、すなわち、軸心回りで相対回転する固定型 1 2 および可動型 1 3 の相対回転角を特定する。この特定にあたって、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、まず、隣接する機械座標系  $x y z$  に基づき、長尺製品 8 1 の軸心方向すなわち重心線 9 9 に沿って特定される単位送り量当たりの軸心回り比捻れ角を算出する。

## 【0095】

この軸心回り比捻れ角の算出にあたって、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、例えば図 3 3 に示されるように、隣接する機械座標系  $x y z$  同士の間で  $x y$  座標平面同士を互いに重ね合わせる。この重ね合わせにあたっては、例えば行列演算などを用いて 1 対の機械座標系  $x y z$  の間で  $z$  座標軸の向きが揃えられればよい。こうした座標平面同士の重ね合わせにあたって、 $x y$  座標平面および  $x_1 y_1$  座標平面では、全体座標系  $X Y Z$  に従って  $z$  座標軸回りの回転角は保持される。したがって、重ね合わせられた  $x y$  座標平面および  $x_1 y_1$  座標平面に基づけば、1 対の断面 1 0 5 a、1 0 5 b 同士の間で軸心回り捻れ角  $\theta$  は導き出されることができる。

## 【0096】

こうして隣接する断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g 同士の間で軸心回り捻れ角  $\theta$  が算出

されると、第2制御データ算出モジュール76は、断面105a～105g同士の間で測定される重心線99の長さ、すなわち、ノット102間で測定される曲線101の長さを用いて軸心回り比捻れ角 $\psi$ を算出する。すなわち、軸心回り捻れ角 $\theta$ は重心線99の長さによって除算される。こうして算出された軸心回り比捻れ角 $\psi$ は、例えば図34に示されるように、累積される重心線99の長さに対して次々とプロットされる。その結果、長尺製品81の軸心方向に沿って軸心回り比捻れ角 $\psi$ の変動を示す分布曲線121は導き出される。ただし、この分布曲線121では、重心線99の長さで特定される軸心方向位置に固定型12が位置決めされた際に可動型13の位置で特定される軸心回り比捻れ角 $\psi$ がプロットされる。

#### 【0097】

続いて第2制御データ算出モジュール76は分布曲線121上で軸心回り比捻れ角 $\psi$ の最大値122を検出する。この最大値122は、軸心回り比捻れ角 $\psi = 0$ で始まり軸心回り比捻れ角 $\psi = 0$ で終わる1捻り区間123内で検出される。最大値122が検出されると、第2制御データ算出モジュール76は、最大値122に至る分布曲線121aを単純増加曲線に描き直すと同時に、最大値122を通過した分布曲線121bを単純減少曲線に描き直す。単純増加曲線によれば軸心回り比捻れ角 $\psi = 0$ から最大値122までに軸心回り比捻れ角 $\psi$ は減少することはない、単純減少曲線によれば最大値122から軸心回り比捻れ角 $\psi = 0$ までに軸心回り比捻れ角 $\psi$ は増大することはない。最大値122に至る分布曲線121aや、最大値122を通過した分布曲線121bでは、例えば図35に示されるように、極大値125とこの極大値125に隣接する極小値126とが平均化される。図35から明らかなように、平均化で描き出される直線127は、極小値126を含む分布曲線121との間に、極大値125を含む分布曲線121と直線127との間に区画される領域128と同一面積の領域129を区画する。

#### 【0098】

こうして分布曲線121が単純増加曲線および単純減少曲線で表現されると、第2制御データ算出モジュール76は、例えば図36に示されるように、アプロ

一チ距離 $L$ に基づき加工域 1 3 1 を描き出す。この加工域 1 3 1 は、軸心方向すなわち重心線 9 9 の長さ方向にアプローチ距離 $L$ を特定する上辺 1 3 2 と、この上辺 1 3 2 の両端に接続されて、傾斜度で軸心回り比捻れ角 $\psi$ の許容変化率を特定する可動型側斜辺 1 3 3 および固定型側斜辺 1 3 4 とによって囲まれる。許容変化率は例えば固定型 1 2 の中心軸 2 2 回り最大回転速度に基づき決定される。

## 【 0 0 9 9 】

第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、最大値 1 2 2 に至る分布曲線 1 2 1 a では、可動型 1 3 の位置を特定する上辺 1 3 2 の一端を基準に加工域 1 3 1 を分布曲線 1 2 1 に沿って移動させる。移動の間に上辺 1 3 2 の一端以外で加工域 1 3 1 が分布曲線 1 2 1 に交差すると、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、交差した領域で加工域 1 3 1 の外枠に沿って分布曲線 1 2 1 を描き直す。反対に、最大値 1 2 2 を通過した分布曲線 1 2 1 b では、固定型 1 2 の位置を特定する上辺 1 3 2 の他端を基準に加工域 1 3 1 は分布曲線 1 2 1 に沿って移動させられる。移動の間に上辺 1 3 2 の他端以外で加工域 1 3 1 が分布曲線 1 2 1 に交差すると、同様に、交差した領域で分布曲線 1 2 1 は加工域 1 3 1 の外枠に沿って描き直される。同時に、前述の最大値 1 2 2 を挟む分布曲線 1 2 1 は、例えば図 3 6 から明らかなように、加工域 1 3 1 に基づき、少なくともアプローチ距離 $L$ にわたって均一な軸心回り比捻れ角 $\psi$ を示す直線 1 3 5 に描き直される。こうした直線 1 3 5 によれば最大値 1 2 2 を挟む分布曲線 1 2 1 は平均化される。

## 【 0 1 0 0 】

こうして加工域 1 3 1 に基づき完全に分布曲線 1 2 1 が描き直されると、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、重心線 9 9 の長さに沿って各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g ごとに固定型 1 2 の中心軸 2 2 回り回転角を算出する。すなわち、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、例えば図 3 7 から明らかなように、直線 1 3 5 の入り口 1 3 6 に至る分布曲線 1 2 1 上で断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g ごとに特定される軸心回り比捻れ角 $\psi$ に、可動型 1 3 および固定型 1 2 の間で測定されるアプローチ距離 $L$ を掛け合わせる。この乗算によって固定型 1 2 の軸心回り相対回転角は導き出される。その一方で、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、直線

1 3 5 の入り口 1 3 6 を通過した分布曲線 1 2 1 に基づき、断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g ごとにアプローチ距離  $L$  にわたって軸心回り比捻れ角  $\psi$  の積分値を算出する。この積分値によって固定型 1 2 の軸心回り相対回転角は特定されることができる。

#### 【0 1 0 1】

ここで、以上のような捻れ加工の原理を簡単に説明する。いま、固定型 1 2 が中心軸 2 2 回りに回転角  $\theta 1$  で回転すると、例えば図 3 8 に示されるように、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間では長尺材 1 1 に捻れ変形が引き起こされる。断面形状が均一であれば、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で長尺材 1 1 は均等に捻れる。したがって、図 3 9 に示されるように、アプローチ距離  $L$  にわたって均一に比捻れ角  $\psi 1$  は分布する。比捻れ角  $\psi$  は、長尺材 1 1 の軸心方向に沿った単位長さ当たりの捻れ角を意味する。

#### 【0 1 0 2】

長尺材 1 1 が微小距離  $D 1$  で軸心方向に送られると、可動型 1 3 を通過した長尺材 1 1 では前述の比捻れ角  $\psi 1$  は保持される。このとき、固定型 1 2 が前述の回転角  $\theta 1$  よりも大きな回転角  $\theta 2$  で特定される姿勢を確立すると、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で長尺材 1 1 は均等に捻れる結果、例えば図 4 0 に示されるように、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間には均一に比捻れ角  $\psi 2$  が分布する。この比捻れ角  $\psi 2$  が保持されたまま長尺材 1 1 が再び微小距離  $D 2$  で可動型 1 3 を通過すると、図 4 1 に示されるように、微小距離  $D 1$  にわたって実現された比捻れ角  $\psi 1$  に続き、微小距離  $D 2$  にわたって比捻れ角  $\psi 2$  は実現されることができる。

#### 【0 1 0 3】

こうして微小距離の送りと固定型 1 2 の回転とが連続的に繰り返されると、段階的に増加する比捻れ角  $\psi$  で長尺材 1 1 には捻れ変形が実現される。例えば軸心方向に長尺材 1 1 を連続的に送りながら滑らかに固定型 1 2 の回転角を変化させれば、前述のように、徐々に増加する捻れ角で捻られた長尺製品 8 1 は得られることができる。このとき、固定型 1 2 の回転角は、可動型 1 3 の位置で特定される比捻れ角  $\psi$  とアプローチ距離  $L$  との乗算によって導き出されることができる。

## 【0 1 0 4】

続いて、前述のように均一な比捻れ角  $\psi$  1 で長尺材 1 1 が捻られた後に固定型 1 2 に加えられる拘束力を解放し、中心軸 2 2 回りで固定型 1 2 の回転を許容しつつ長尺材 1 1 が微小距離 D 1 で送られる場面を想定する。すると、図 4 2 に示されるように、微小距離 D 1 で送られる間に固定型 1 2 を通過する長尺材 1 1 で捻れは生じない。捻れた長尺材 1 1 が可動型 1 3 を通過する結果、長尺材 1 1 には、固定型 1 2 の回転角  $\theta$  1 とは反対向きに軸心回りの回転角  $\theta$  3 が生じる。固定型 1 2 の回転角は  $(\theta 1 - \theta 3)$  に減少する。図 4 3 に示されるように、微小距離 D 1 で送られる間に固定型 1 2 を通過する長尺材 1 1 は比捻れ角  $\psi = 0$  を維持する。

## 【0 1 0 5】

その後、固定型 1 2 に加えられる拘束力を復帰させ中心軸 2 2 回りで固定型 1 2 を強制的に回転させると、例えば図 4 4 に示されるように、予め捻れ変形が施された領域では、加工硬化に起因して、比捻れ角  $\psi$  1 に達するまで捻れ変形は引き起こされない。このとき、長尺材 1 1 では、前述と同様に、微小距離 D 1 にわたって均一に捻れが生じる。その結果、微小距離 D 1 では均一な比捻れ角  $\psi$  4 が分布する。固定型 1 2 の回転角は、図 4 4 から明らかなように、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間でアプローチ距離 L にわたって算出される比捻れ角  $\psi$  の積分値によって特定されることができる。

## 【0 1 0 6】

続いて微小距離 D 2 で再び軸心方向に長尺材 1 1 を送り出し、前述と同様に、固定型 1 2 を通過した長尺材 1 1 で比捻れ角  $\psi = 0$  を維持させる。その後、中心軸 2 2 回りで固定型 1 2 を強制的に回転させると、例えば図 4 5 に示されるように、微小距離 D 1 にわたって実現された比捻れ角  $\psi$  4 に続き、微小距離 D 2 にわたって比捻れ角  $\psi$  5 は実現されることができる。ただし、比捻れ角  $\psi$  5 は、先行する比捻れ角  $\psi$  4 よりも小さくなければならない。

## 【0 1 0 7】

こうして微小距離の送りと固定型 1 2 の回転とが連続的に繰り返されると、段



階的に減少する比捻れ角  $\psi$  で長尺材 1 1 には捻れ変形が実現される。例えば軸心方向に長尺材 1 1 を連続的に送りながら滑らかに固定型 1 2 の回転角を変化させれば、前述のように、徐々に減少する捻れ角で捻られた長尺製品 8 1 は得られることができる。

## 【0 1 0 8】

こうして第 2 制御データ算出モジュール 7 6 で軸心回り比捻れ角  $\psi$  が特定されると、捻りモーメント算出モジュール 7 7 は各機械座標系  $x y z$  ごとに長尺材 1 1 に加えられる捻りモーメント（捻りトルク） $T$  を算出する。この算出にあたって、捻りモーメント算出モジュール 7 7 は、形状データで特定される加工後の長尺製品 8 1 の軸心回り捻れ角  $\Delta \theta$  を取得する。この軸心回り捻れ角  $\Delta \theta$  には、前述のように各機械座標系  $x y z$  ごとに特定された固定型 1 2 の軸心回り相対回転角が用いられればよい。

## 【0 1 0 9】

こうして軸心回り捻れ角  $\Delta \theta$  が取得されると、捻りモーメント算出モジュール 7 7 は、例えば長尺製品 8 1 すなわち加工中の長尺材 1 1 の断面に沿って剪断歪み分布  $\gamma(\rho)$  を特定する。ここで、剪断歪み分布  $\gamma(\rho)$  は、図 4 6 から明らかのように、長尺製品 8 1 すなわち長尺材 1 1 の断面上で捻れ中心すなわち固定型 1 2 の中心軸 2 2 からの距離に応じて直線的に変化することから、断面上で特定される重心 9 0 からの距離  $\rho$  に基づき次式に従って幾何学的に導き出されることことができる。

## 【0 1 1 0】

## 【数 1 5】

$$\gamma(\rho) = \rho \Delta \theta$$

こうして剪断歪み分布  $\gamma(\rho)$  が算出されると、捻りモーメント算出モジュール 7 7 は、

## 【数 1 6】

$$\tau(\rho) = B3 \cdot \gamma(\rho)^3 + B2 \cdot \gamma(\rho)^2 + B1 \cdot \gamma(\rho) + B0$$

に従って剪断応力分布  $\tau(\rho)$  を算出する。ここで、係数  $B_3$ 、 $B_2$ 、 $B_1$ 、 $B_0$  は前述の応力歪み曲線（式〔数 4〕）に基づき決定されればよい。すなわち、周知の通り、モール円に基づけば、歪み  $\varepsilon$  は、

【数 1 7】

$$\varepsilon = \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_y - \varepsilon_x)^2 + \gamma_{xy}^2}$$

によって表現されることができる。ここで、

【数 1 8】

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$$

といった置き換えを実施し、前述の式〔数 4〕に式〔数 1 7〕が代入されると、式〔数 1 6〕の係数  $B_3$ 、 $B_2$ 、 $B_1$ 、 $B_0$  は得られることができる。

【0 1 1 1】

こうして算出された剪断応力分布  $\tau(\rho)$  によれば、任意の断面の捻りモーメント  $T$  は、

【数 1 9】

$$T = \int_x \int_y \tau(\rho) \rho dA$$

によって表現されることができる。離散化された式〔数 1 9〕に基づき数値計算が繰り返されると、捻りモーメント  $T$  は導き出されることができる。

【0 1 1 2】

第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、捻りモーメント算出モジュール 7 7 で算出される捻りモーメント  $T$  を利用して前述の軸心回り相対回転角に修正を加え、設計どおりに精度よく捻られた長尺製品 8 1 を生み出す固定型 1 2 の軸心回り実回転角を導き出すことができる。こうした軸心回り実回転角を導き出すにあたって、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、長尺材 1 1 の弾性捻れ復元力すなわちスプリングバックに起因する弾塑性捻れ変形量を特定する。

## 【0 1 1 3】

第2制御データ算出モジュール76は、捻りモーメント算出モジュール77で算出された捻りモーメントTに基づき、長尺材11に引き起こされる弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ を算出する。弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ は、例えば次式に従って算出されることができる。

## 【0 1 1 4】

## 【数 2 0】

$$\Delta\psi = \frac{T}{GI_p}$$

ここで、係数Gは長尺材11の剪断弾性係数を示し、係数 $I_p$ は断面二次極モーメントを示す。こうして弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ が特定されると、第2制御データ算出モジュール76は、前述の軸心回り相対回転角に弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ を足し合わせる。その結果、固定型12および可動型13の間で確立される軸心回り実回転角すなわちz軸回り回転角Cは導き出される。

## 【0 1 1 5】

前述したように、アルミニウム材を始めとする長尺材11は弾性変形を経て塑性変形に至る。固定型12から捻り変形が加えられても、塑性変形に至る歪みが長尺材11に生じなければ、長尺材11が固定型12の拘束から解放されると同時に弾性復元力いわゆるスプリングバックに応じて加工後の長尺製品81に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ に応じて固定型12および可動型13の間で軸心回り実回転角が特定されれば、そういった弾性復元力いわゆるスプリングバックに起因する長尺製品81の形状誤差は十分に解消されることができる。特に、そういった弾塑性捻れ変形量 $\Delta\psi$ は捻りモーメントTに基づき幾何学的に算出されることから、実測データの収集といった手間をできる限り省くことが可能となる。

## 【0 1 1 6】

その他、第2制御データ算出モジュール76は、例えば図47に示されるように、固定型12側貫通孔24の出口や可動型13側貫通孔28の入り口で長尺材

1 1 に引き起こされる断面変形に起因する凹み 1 4 1 の断面変形量  $d 3$  を同時に特定してもよい。特定された断面変形量  $d 3$  に基づき、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、そういった断面変形に起因して引き起こされる長尺材 1 1 の捻れ変化量  $\Delta \omega$  を特定する。この捻れ変化量  $\Delta \omega$  が特定されると、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、前述の軸心回り相対回転角に捻れ変化量  $\Delta \omega$  を足し合わせる。その結果、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で確立される軸心回り実回転角すなわち  $z$  軸回り回転角  $C$  は導き出される。

## 【0 1 1 7】

特に、中空の長尺材 1 1 では、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で捻れ変形が引き起こされる際に、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口や可動型 1 3 側貫通孔 2 8 の入り口では長尺材 1 1 の稜線で断面変形すなわち凹み 1 4 1 が生じてしまう。こうした凹み 1 4 1 が引き起こされている間に固定型 1 2 が中心軸 2 2 回りで回転しても、長尺材 1 1 には十分な塑性捻れ変形は生じることはない。したがって、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な捻れ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品 8 1 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された捻れ変化量  $\Delta \omega$  に基づき固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で軸心回り実回転角が特定されれば、そういった断面変形に起因する長尺製品 8 1 の形状誤差は十分に解消されることができる。

## 【0 1 1 8】

ここで、捻れ変化量  $\Delta \omega$  は、例えば図 4 8 に示されるように、実測データに基づき特定されればよい。この実測データによれば、

## 【数 2 1】

$$\Delta \omega = K 4 \frac{P}{\sigma_{0.2}}$$

に従って捻れ変化量  $\Delta \omega$  [°] は算出されることができる。ここで、係数  $P$  は、断面に沿って長尺材 1 1 の稜線に加わる荷重を示し、係数  $K 4$  は、実測データに基づき算出される比例係数を示す。このとき、荷重  $P$  は、例えば、

【数 2 2】

$$P = \frac{T}{N}$$

に従って近似されればよい。ここで、係数Nは、断面上で特定される稜線の本数を示す。

【0 1 1 9】

こうした実測データを取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材 1 1 に実際に押し通し曲げ加工機 1 0 で捻れ変形が加えられればよい。このとき、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で長尺材 1 1 の凹み 1 4 1 は実測される。こうして実測された凹み 1 4 1 の大きさすなわち断面変形量 d 3 が（荷重  $P / 0.2\%$  耐力  $\sigma_{0.2}$ ）に対してプロットされると、図 4 8 に示される実測データは得られることができる。ここでは、3 種類のアルミニウム材（JIS 6 0 6 3 - O、JIS 6 0 6 3 - T 1 および JIS 6 0 6 3 - T 5）に対して断面変形量 d 3 は実測された。この実測データによれば、断面変形量 d 3 と（荷重  $P / 0.2\%$  耐力  $\sigma_{0.2}$ ）との間に概ね比例関係が認められる。凹み 1 4 1 といった断面変形に起因する微小な回転では、こうした比例関係は捻れ変化量  $\Delta \omega$  と（荷重  $P / 0.2\%$  耐力  $\sigma_{0.2}$ ）との間に適用されても差し支えない。その結果、前述のように係数 K 4 を用いて捻れ変化量  $\Delta \omega$  は算出されることができることとなる。しかも、長尺材 1 1 の材質や材料特性の違いに拘わらず、捻れ変化量  $\Delta \omega$  を算出するにあたって同一の係数 K 4 が用いられることができることが明らかとされる。ただし、係数 K 4 は長尺材 1 1 の断面形状に応じて変化する。

【0 1 2 0】

さらに、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、例えば図 4 9 に示されるように、固定型 1 2 および可動型 1 3 に対する長尺材 1 1 のクリアランス量 d 4 すなわちガタに起因するクリアランス量を同時に特定してもよい。特定されたクリアランス量 d 4 は前述の軸心回り相対回転角に足し合わせられればよい。その結果、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で確立される軸心回り実回転角すなわち z 軸回り回転角 C は導き出される。

## 【0 1 2 1】

前述のように、長尺材 1 1 の寸法精度には所定範囲の公差すなわちばらつきが許容される。こういった公差に拘わらず固定型 1 2 や可動型 1 3 の貫通孔 2 4、2 8 に対して長尺材 1 1 を確実に通過させるには、長尺材 1 1 の設計寸法と貫通孔 2 4、2 8 の寸法との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。たとえ公差が存在しなくても、固定型 1 2 や可動型 1 3 の貫通孔 2 4、2 8 に対して長尺材 1 1 をスムーズに通過させるには、長尺材 1 1 の外形と貫通孔 2 4、2 8 の内面との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。こうしたクリアランスが解消されて固定型 1 2 や可動型 1 3 が完全に長尺材 1 1 に接触するまで、固定型 1 2 が中心軸 2 2 回りで回転しても長尺材 1 1 には実質的に捻れ変形は生じることはない。したがって、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な捻れ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品 8 1 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出されたクリアランス量  $d_4$  に基づき固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で軸心回り実回転角が特定されれば、そういったクリアランスすなわちガタに起因する長尺製品 8 1 の形状誤差は十分に解消されることができる。

## 【0 1 2 2】

ここで、クリアランス量  $d_4$  は、例えば図 5 0 に示されるように、実測データに基づき特定されればよい。この実測データを取得するにあたっては、長尺材 1 1 に実際に押し通し曲げ加工機 1 0 で捻れ変形が加えられればよい。このとき、 $z$  軸回り回転角  $C$  は実測される。実測された  $z$  軸回り回転角  $C$  に対して捻りモーメント  $T$  がプロットされると、図 5 0 に示される実測データは得られることができる。得られた実測データに基づき捻りモーメント  $T$  の立ち上がりは描き出される。その結果、捻りモーメント  $T = 0$  で特定される  $z$  軸回り回転角  $C$  によってガタすなわちクリアランス量  $d_4$  は特定されることができる。

## 【0 1 2 3】

こうした一方で、送り量算出モジュール 7 8 は、ノット位置特定モジュール 7 2 で特定された各ノット 1 0 2 の位置に基づき、固定型 1 2 の貫通孔 2 4 を通過する長尺材 1 1 の送り位置  $W$  を決定する。こうした送り位置  $W$  を特定するにあ

って、送り量算出モジュール 7 8 は、例えば図 5 1 に示されるように、隣接するノット 1 0 2 に設定される断面 1 0 5 a、1 0 5 b の間で中立軸 1 4 2 を描き出す。こうした中立軸 1 4 2 を描き出すにあたって、送り量算出モジュール 7 8 は、各断面 1 0 5 a、1 0 5 b に沿って重心線 9 9 すなわち重心 9 0 から中立軸 1 4 2 までの乖離量  $\eta$  を算出する。乖離量  $\eta$  の算出工程の詳細は後述される。送り量算出モジュール 7 8 は、算出された乖離量  $\eta$  と重心線 9 9 とに基づき中立軸 1 4 2 を描き出す。

#### 【0 1 2 4】

重心線 9 9 を基準に中立軸 1 4 2 を描き出すにあたって、送り量算出モジュール 7 8 は、各断面 1 0 5 a、1 0 5 b 上で重心線 9 9 の方向ベクトルを特定する。こうした方向ベクトルは断面 1 0 5 a、1 0 5 b に沿って乖離量  $\eta$  で平行移動させられる。その結果、隣接する 2 枚の断面 1 0 5 a、1 0 5 b 同士の間では始点ベクトルおよび終点ベクトルが特定される。こうして特定された始点ベクトルおよび終点ベクトルの間に重心線 9 9 と同一次数のパラメトリック曲線が描き出される。パラメトリック曲線は始点ベクトルから終点ベクトルに向かって等変化率で曲率を変化させることができる。こうしたパラメトリック曲線によって中立軸 1 4 2 は表現される。こうした処理が全ての断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g の間で実現されると、長尺材 1 1 の全長にわたって中立軸 1 4 2 は描き出されることができる。

#### 【0 1 2 5】

隣接する断面 1 0 5 a、1 0 5 b 同士の間では長尺材 1 1 の送り量  $W$  は中立軸 1 4 2 の長さ  $S 1$  によって表現されることができる。こうした中立軸 1 4 2 の長さ  $S 1$  を基準に長尺材 1 1 の送り量  $W$  は決定される。言い換えれば、重心線 9 9 の長さを基準に特定された各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g の位置、すなわち、重心線 9 9 に沿って特定される各ノット 1 0 2 の位置は中立軸 1 4 2 の長さ  $S 1$  に基づき補正される。ここでは、重心線 9 9 の長さ  $S 2$  に中立軸 1 4 2 の長さ  $S 1$  が代入された後、各断面 1 0 5 a ~ 1 0 5 g の位置が特定されればよい。

#### 【0 1 2 6】

一般に、押し通し曲げ加工機 1 0 では、例えば図 2 5 に示されるように、固定

型 1 2 から送り出される長尺材 1 1 に可動型 1 3 で曲げ加工が施されると、送りの反力によって長尺材 1 1 には軸方向圧縮力  $P_c$  が加えられてしまう。こうした軸方向圧縮力  $P_c$  は長尺材 1 1 の長さに変動を引き起こす。こうした長さの変動は曲げの曲率  $1/R$  すなわち曲率半径  $R$  の大きさに応じて変化する。その一方で、長尺材 1 1 の曲がり具合すなわち曲率  $1/R$  の大きさに拘わらず中立軸 1 4 2 では軸方向に歪みは生じない。したがって、加工前と加工後とで中立軸 1 4 2 の長さ  $S_1$  は一定に維持される。こうした中立軸 1 4 2 を基準に特定される各送り量  $W$  に可動型 1 3 の  $x$  座標値や  $y$  座標値、 $y$  軸回り回転角  $B$ 、 $x$  軸回り回転角  $A$ 、固定型 1 2 の  $z$  軸回り回転角  $C$  が関連付けられると、精度の高い長尺製品 8 1 が得られることができる。

## 【 0 1 2 7 】

以上のように、NC プログラム生成モジュール 6 4 は制御データを算出する。こうした制御データに NC プログラムヘッダや NC プログラムフッタの記述が追加されると、前述の NC 加工プログラムは完成する。こうした制御データによれば、スライダ 1 5 の前進速度すなわち長尺材 1 1 の送り速度が決定されると、可動型 1 3 の  $x$  軸方向移動速度や  $y$  軸方向移動速度、 $y$  軸回り回転速度、 $x$  軸回り回転速度、固定型 1 2 の  $z$  軸回り回転速度は決定されることができる。決定された速度に従って可動型 1 3 の位置や姿勢並びに固定型 1 2 の姿勢が変化する限り、各送り位置  $W$  ごとに制御データで指定される可動型 1 3 の位置や姿勢並びに固定型 1 2 および可動型 1 3 の間の相対回転は確実に確立されることができる。

## 【 0 1 2 8 】

なお、第 1 制御データ算出モジュール 7 4 は、弾塑性曲げ変形量、断面変形に起因する出口回り折れ角量、断面変形量およびクリアランス量に基づき可動型 1 3 の幾何的位置を補正する必要は必ずしもない。ただし、補正にあたって、弾塑性曲げ変形量、断面変形に起因する出口回り折れ角量、断面変形量およびクリアランス量は、それぞれ単独で参照されてもよく、それらのいかなる組み合わせで参照されてもよい。また、第 2 制御データ算出モジュール 7 6 は、弾塑性捻れ変形量、捻れ変化量およびクリアランス量に基づき固定型 1 2 の軸心回り回転角を補正する必要は必ずしもない。ただし、補正にあたって、弾塑性捻れ変形量、捻



れ変化量およびクリアランス量は、それぞれ単独で参照されてもよく、それらのいかなる組み合わせで参照されてもよい。

【0 1 2 9】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、高い精度で押し通し曲げ加工を実現することが可能な押し通し曲げ加工システムは提供される。

【図面の簡単な説明】

- 【図 1】 押し通し曲げ加工機の全体構成を概略的に示す側面図である。
- 【図 2】 固定型の拡大正面図である。
- 【図 3】 可動型の拡大正面図である。
- 【図 4】 押し通し曲げ加工システムの全体構成を概略的に示す模式図である。
- 【図 5】 機械座標系の概念を示す固定型の斜視図である。
- 【図 6】 パーソナルコンピュータ（パソコン）の構成を概略的に示すブロック図である。
- 【図 7】 NC プログラム生成モジュールの構成を概略的に示すブロック図である。
- 【図 8】 長尺製品の構造を概略的に示す斜視図である。
- 【図 9】 応力歪み曲線の近似曲線を示す多項式の概念図である。
- 【図 1 0】 断面に対して設定される機械座標系の概念図である。
- 【図 1 1】 三次元データで表現される長尺製品の稜線を示す概念図である。
- 【図 1 2】 二次元データで表現される長尺製品の断面形状を示す平面図である。
- 【図 1 3】 NC 加工プログラムの一具体例を示す図である。
- 【図 1 4】 x 座標値、y 座標値、x 軸回り回転角、y 軸回り回転角および z 軸回り回転角の変動曲線を示すグラフである。
- 【図 1 5】 曲率の変動曲線を示すグラフである。

【図 1 6】 2 本のガイド線に基づき特定される重心線すなわち軸心を示す概念図である。

【図 1 7】 長尺製品の曲がり具合を表現する重心線すなわち軸心を示す概念図である。

【図 1 8】 重心線上で特定される制御点を示す概念図である。

【図 1 9】 長尺製品の各断面ごとに関連付けられる機械座標系を示す透視図である。

【図 2 0】 重心線に基づき特定される長尺製品の断面を示す概念図である。

【図 2 1】 重心線に基づき特定される可動型の位置を示す概念図である。

【図 2 2】  $y z$  平面に投影された長尺製品から  $y$  座標値を算出する工程を示す概念図である。

【図 2 3】  $x z$  平面に投影された長尺製品から  $x$  座標値を算出する工程を示す概念図である。

【図 2 4】 長尺材の公称応力分布および公称歪み分布を示す図である。

【図 2 5】 可動型に加えられる荷重と可動型の傾斜角との関係を示す概念図である。

【図 2 6】 可動型の傾斜角と中立軸の移動率との関係を示すグラフである。

【図 2 7】 弾塑性曲げ変形量を算出する工程を示す概念図である。

【図 2 8】 剪断変形および断面変形に起因する出口回り折れ角量の概念図である。

【図 2 9】 出口回り折れ角量の実測データを示すグラフである。

【図 3 0】 断面変形量の概念図である。

【図 3 1】 断面変形量の実測データを示すグラフである。

【図 3 2】 クリアランスすなわちガタの概念図である。

【図 3 3】 隣接する断面同士の間で長尺製品の捻れを算出する原理を示す図である。

【図 3 4】 長尺製品の軸心方向に沿って軸心回り比捻れ角の変動を特定する分布曲線を示すグラフである。

【図 3 5】 単純増加曲線および単純減少曲線で描き直された分布曲線を示すグラフである。

【図 3 6】 押し通し曲げ加工機の加工特性に応じて分布曲線を描き直す原理を示すグラフである。

【図 3 7】 描き出された分布曲線に基づき固定型の  $z$  軸回り回転角を算出する原理を示すグラフである。

【図 3 8】 固定型および可動型の間で捻られる長尺材の捻れ角を示すグラフである。

【図 3 9】 固定型および可動型の間で捻られる長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 4 0】 軸心方向に微小距離  $D_1$  で送られた後に長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 4 1】 軸心方向に微小距離  $D_2$  で再び送られた後に長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 4 2】 固定型および可動型の間で捻られた後に軸心方向に微小距離  $D_1$  で送られた長尺材の捻れ角を示すグラフである。

【図 4 3】 固定型および可動型の間で捻られた後に軸心方向に微小距離  $D_1$  で送られた長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 4 4】 微小距離  $D_1$  で送られた後に固定型および可動型の間で捻られた長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 4 5】 再び微小距離  $D_2$  で送られた後に固定型および可動型の間で捻られた長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 4 6】 長尺材の剪断応力分布および剪断歪み分布を示す図である。

【図 4 7】 断面変形に起因する捻れ変化量の概念図である。

【図 4 8】 断面変形量の実測データを示すグラフである。

【図 4 9】 クリアランスすなわちガタの概念図である。

【図 5 0】 クリアランス量の実測データを示すグラフである。

【図 5 1】 隣接する断面の間で特定される重心軸および中立軸を示す長尺製品の一部拡大側面図である。

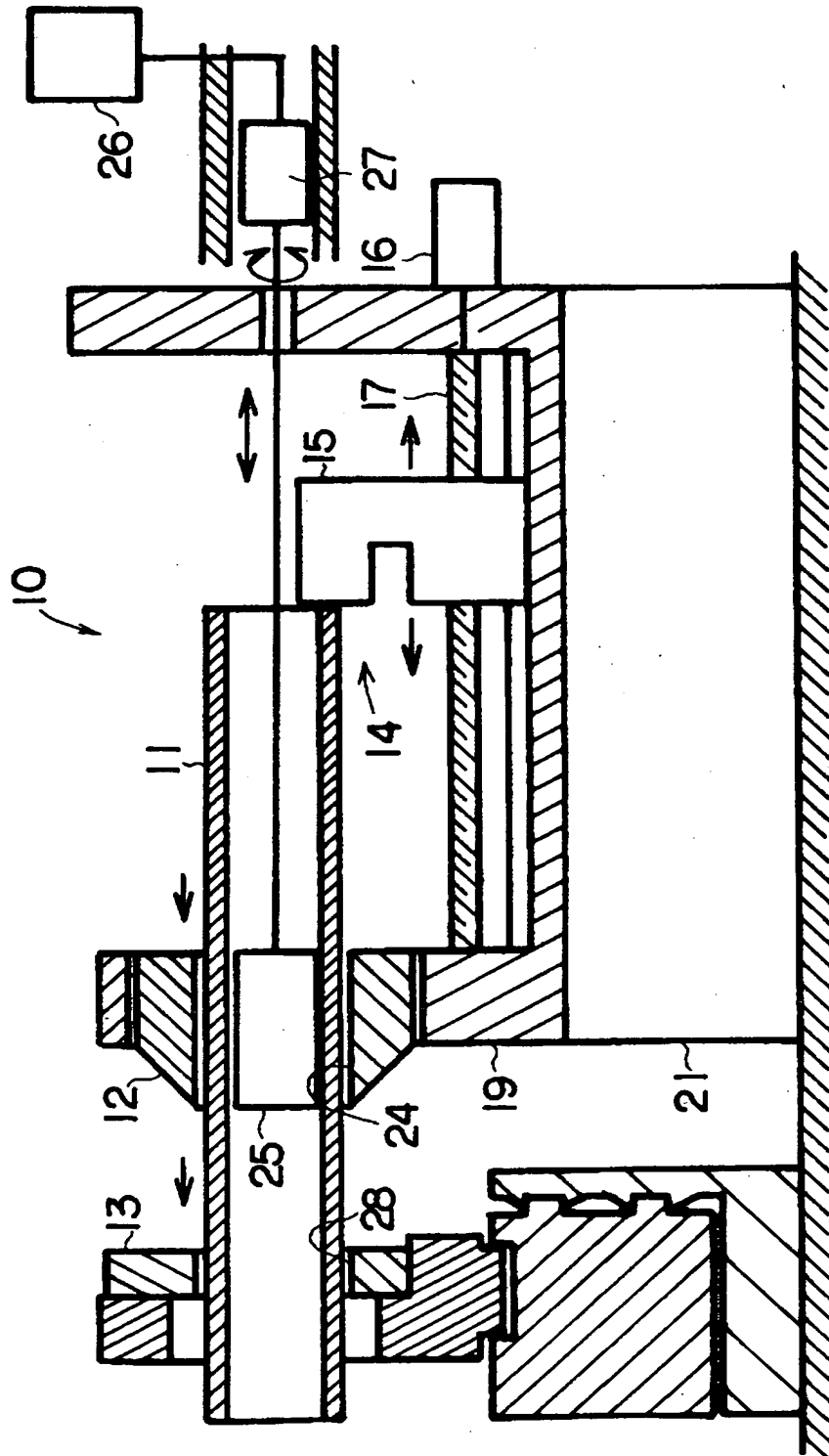
【符号の説明】

1 0 押し通し曲げ加工機、1 1 長尺材（形材）、1 2 第 1 型としての固定型、1 3 第 2 型としての可動型、4 2 コントローラ、5 1 中央演算処理装置、5 2 入力装置、9 1, 9 2 可動型の移動を示す変動曲線、9 3, 9 4 可動型の姿勢変化を示す変動曲線、9 5 軸心回り回転角の変化を示す変動曲線、9 6 曲率変化を示す変動曲線。

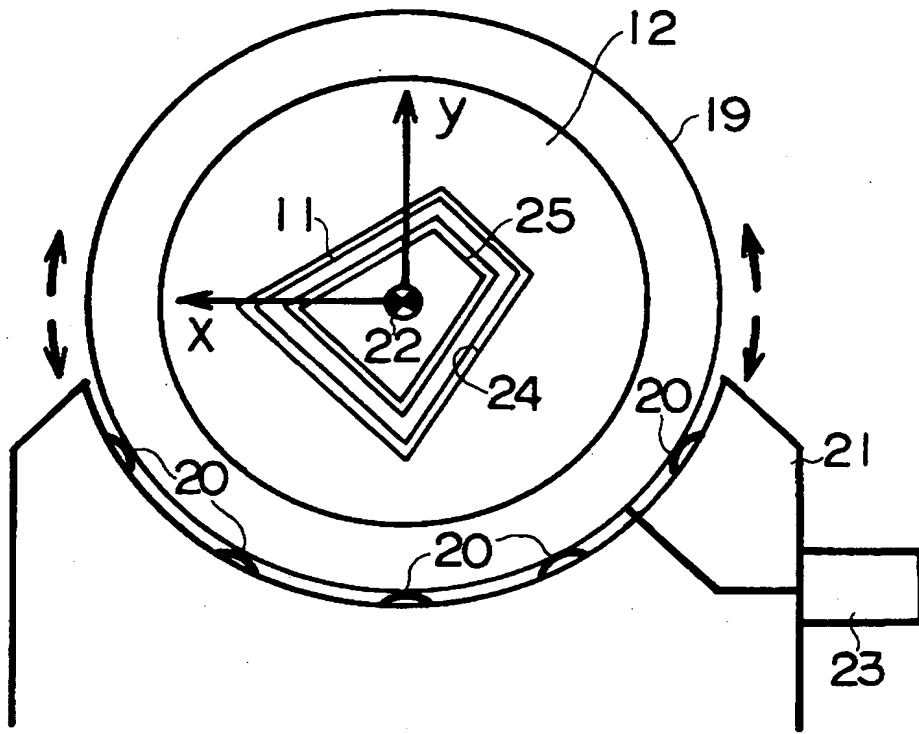
【書類名】

図面

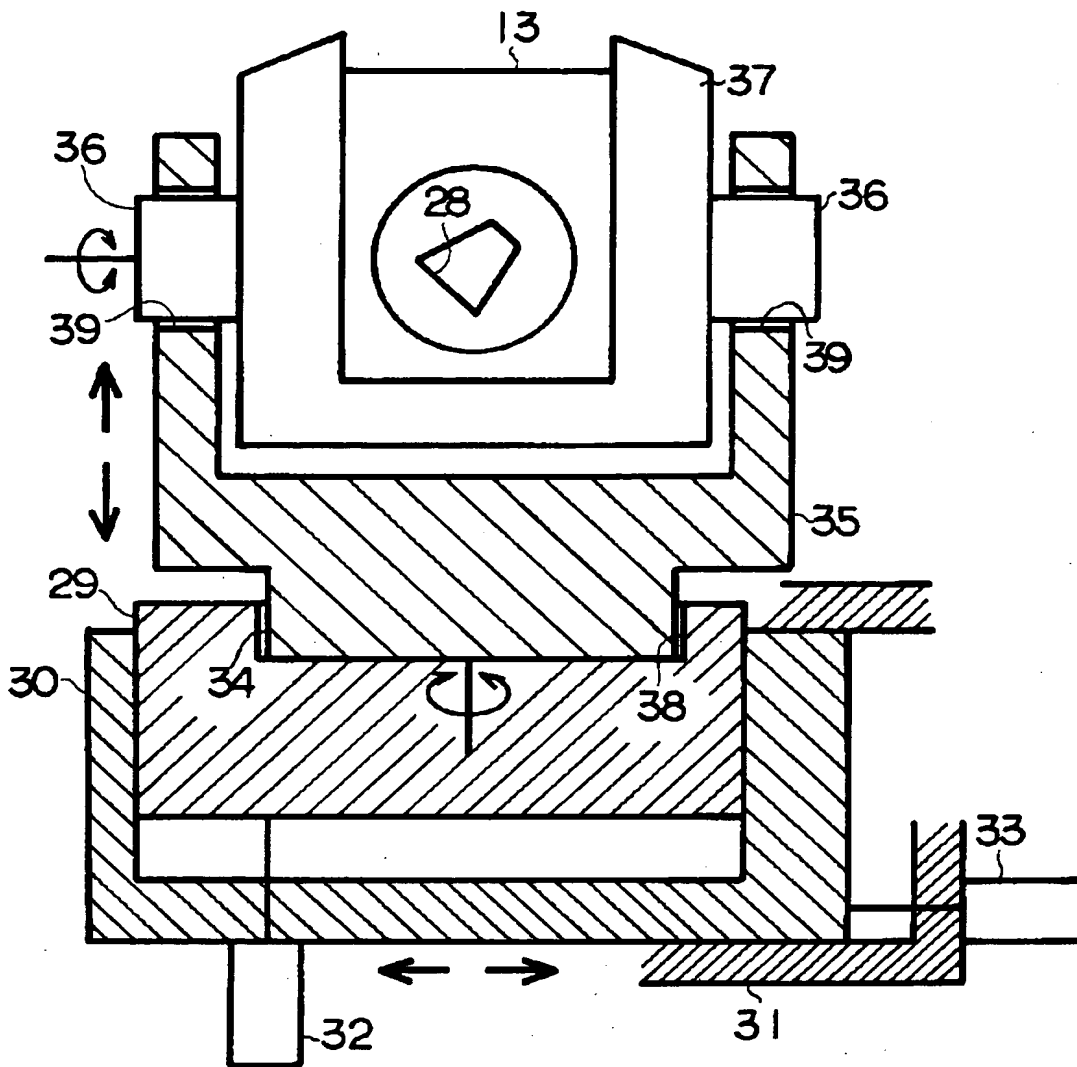
【図 1】



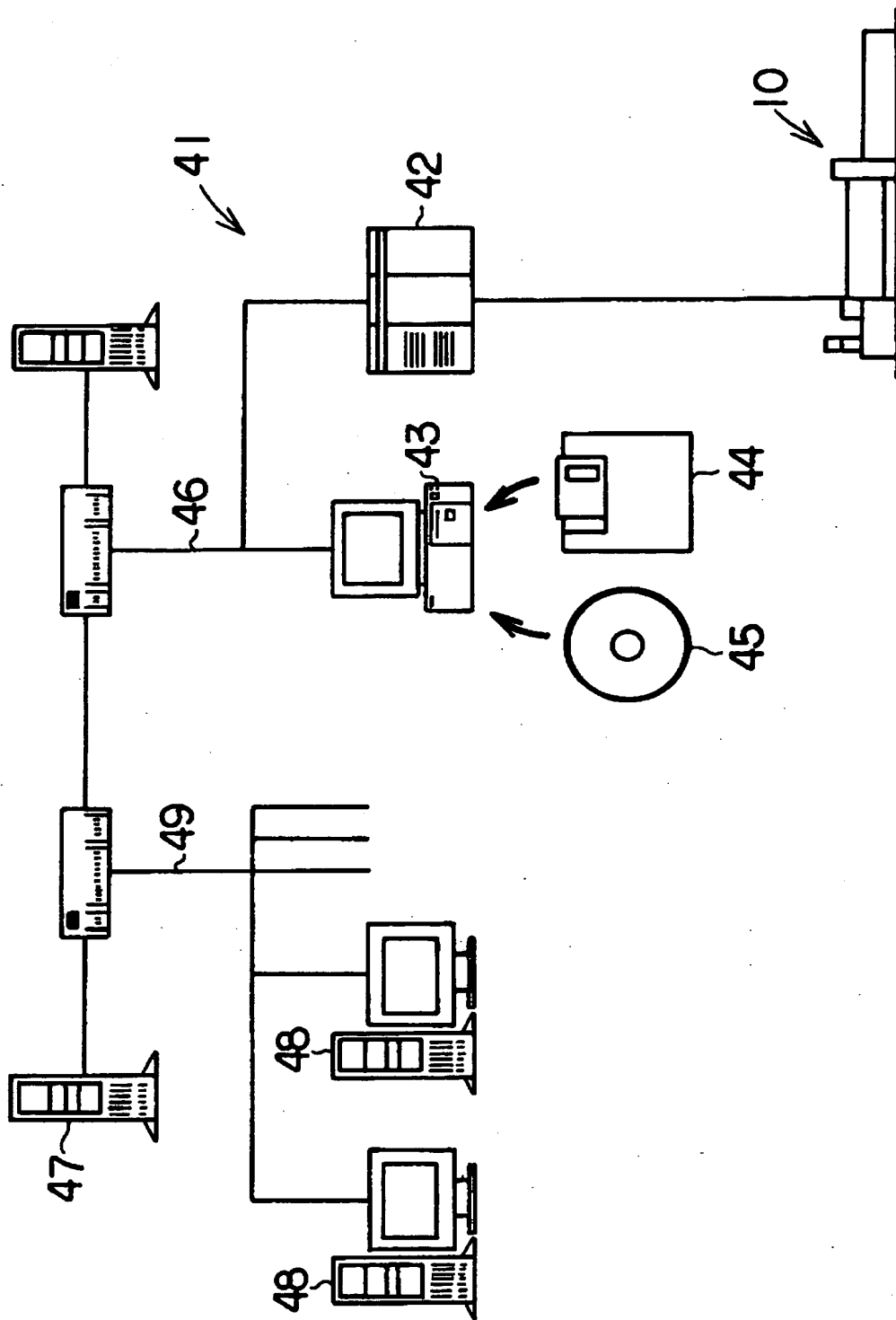
【図 2】



【図 3】

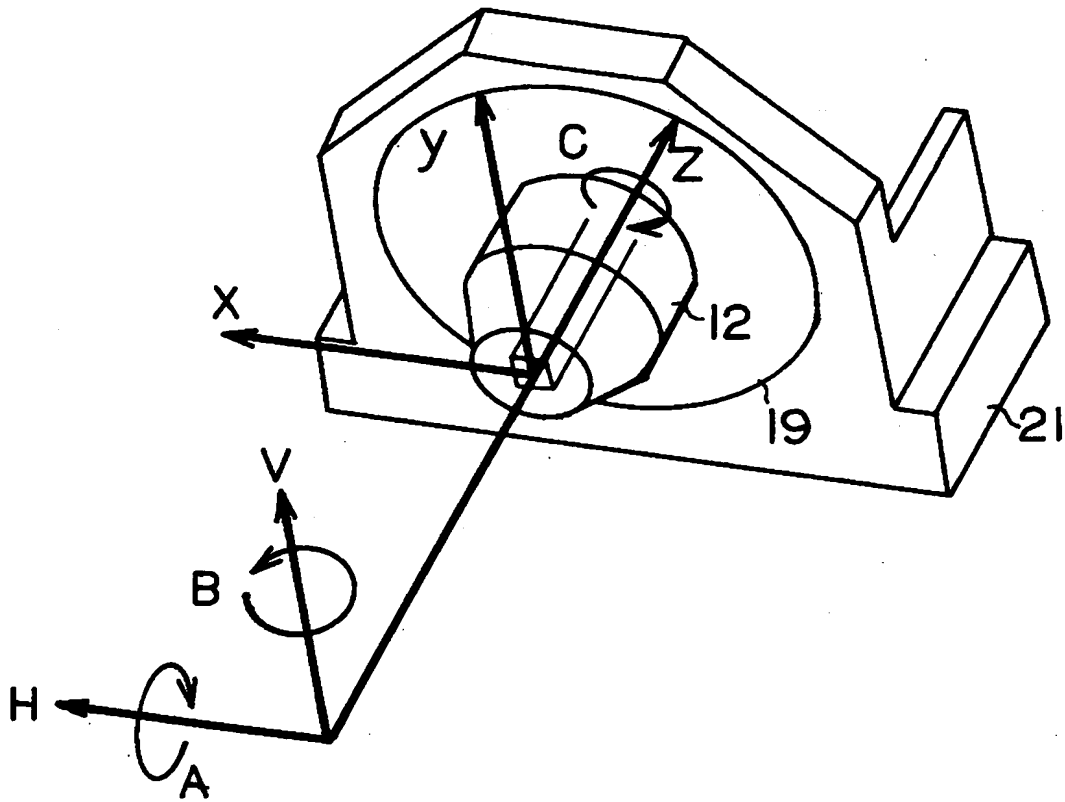


【图 4】

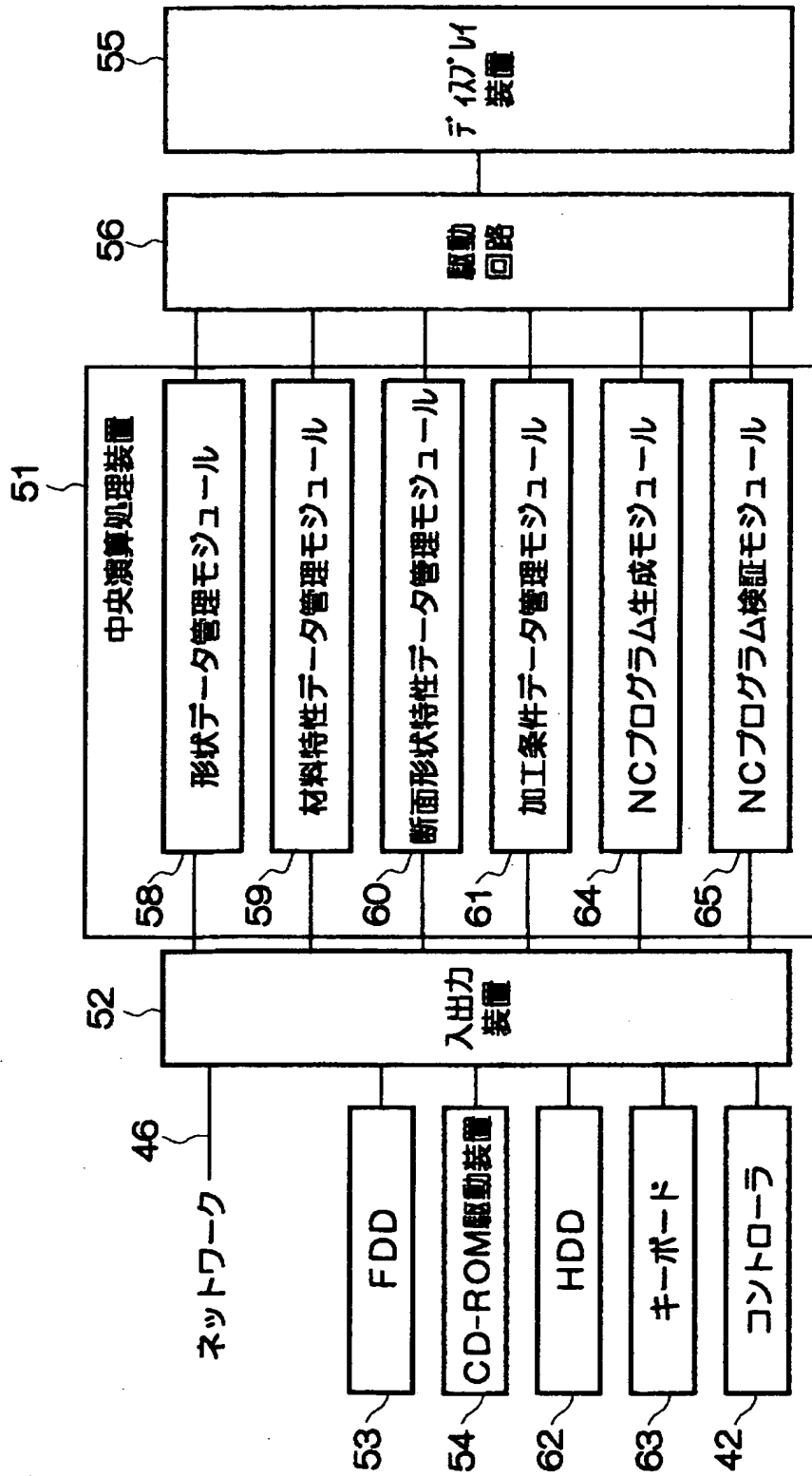




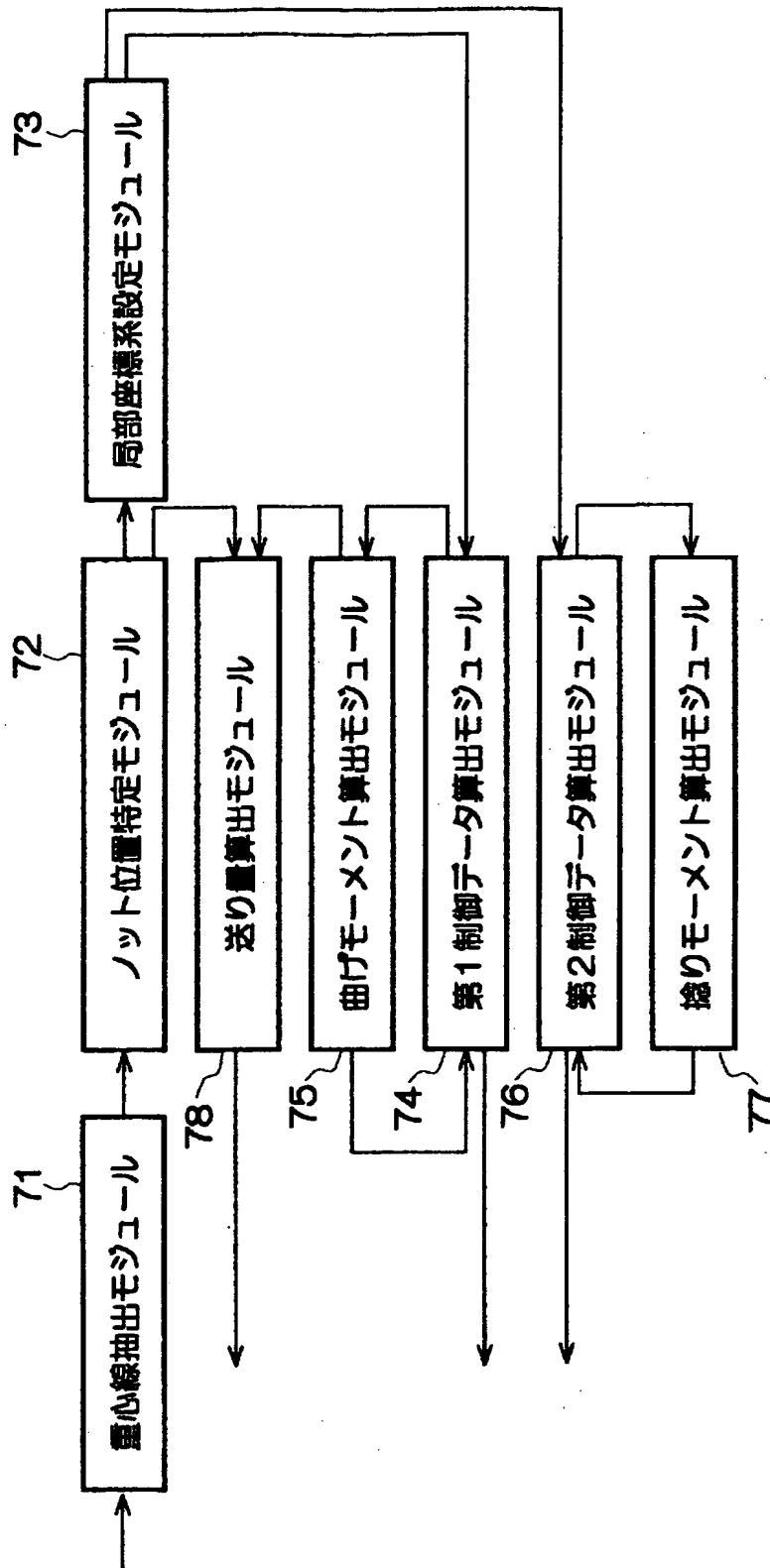
【图 5】



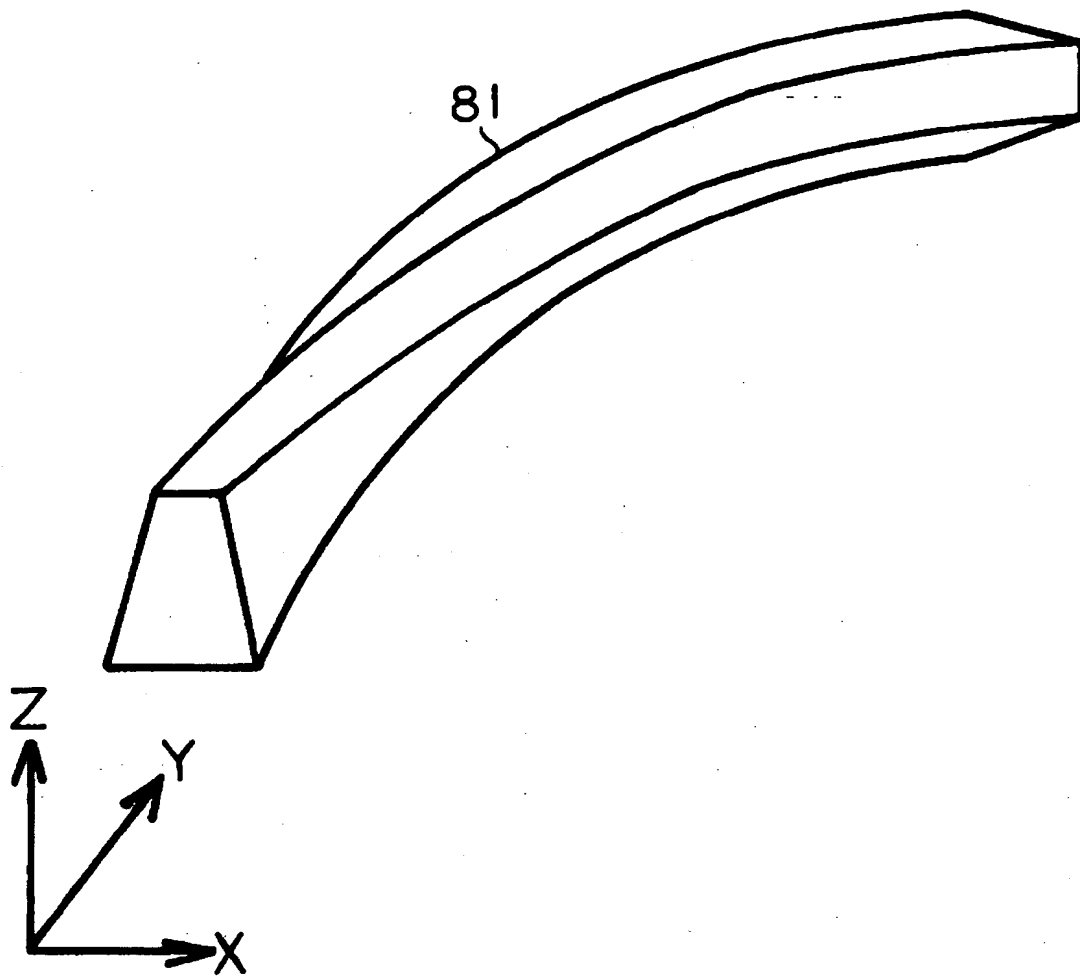
【図 6】



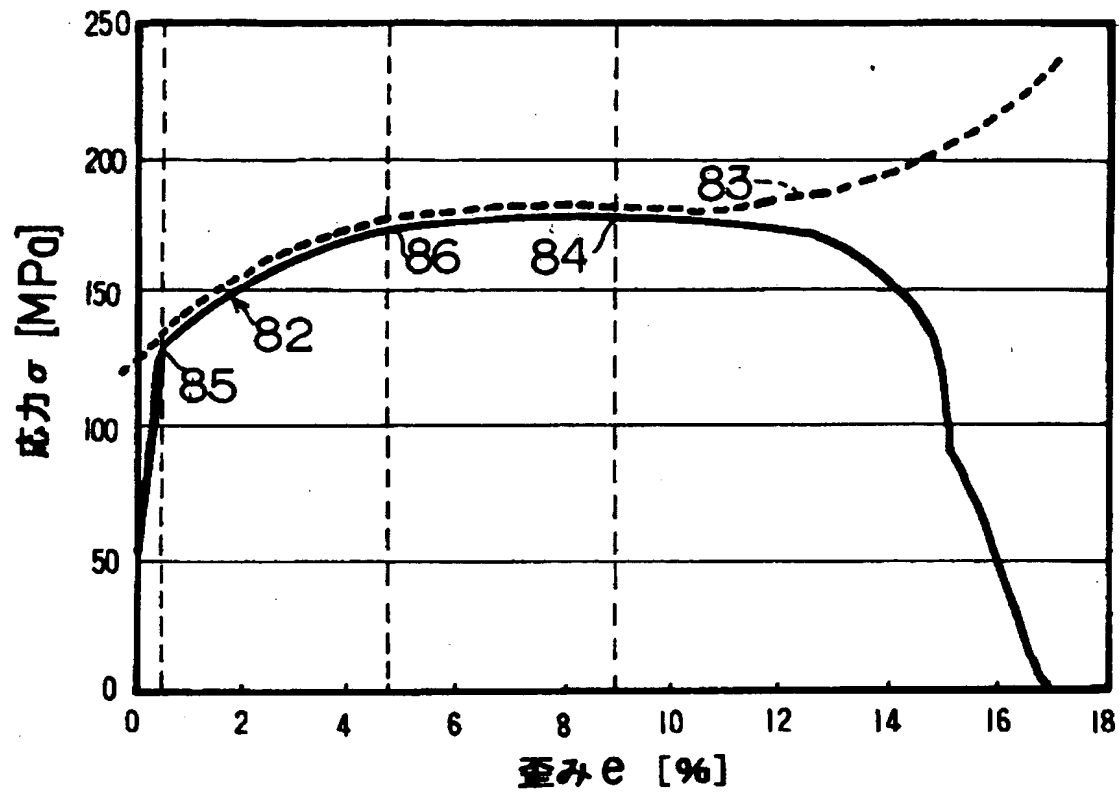
【図 7】



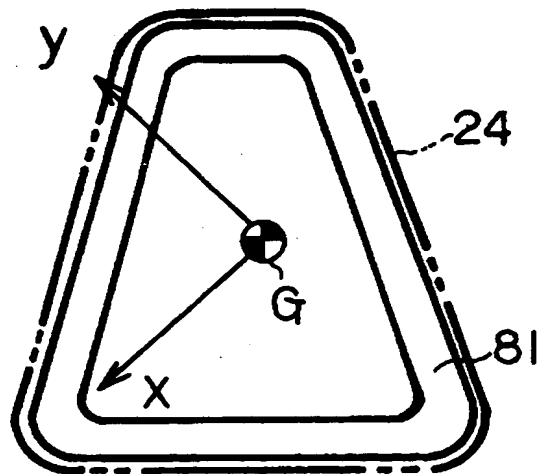
【図 8】



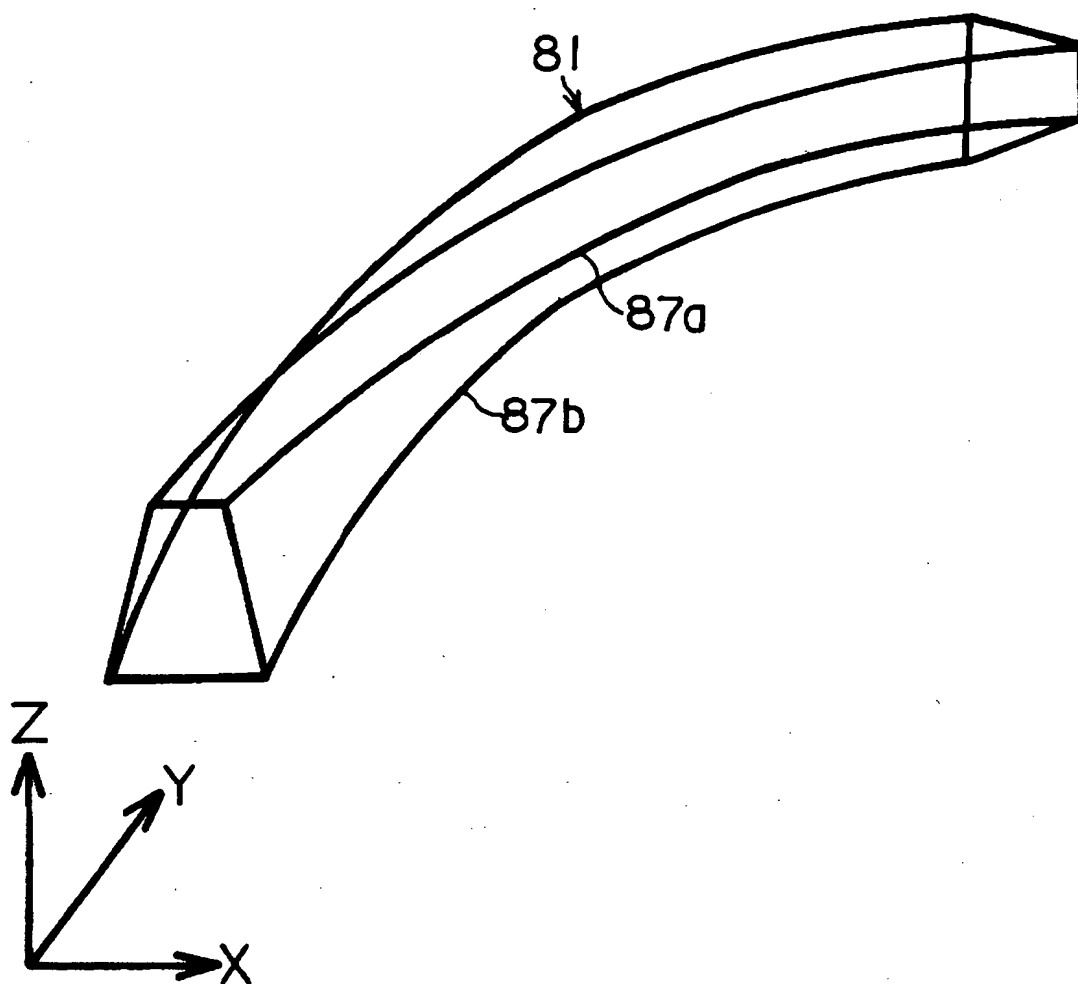
【図 9】



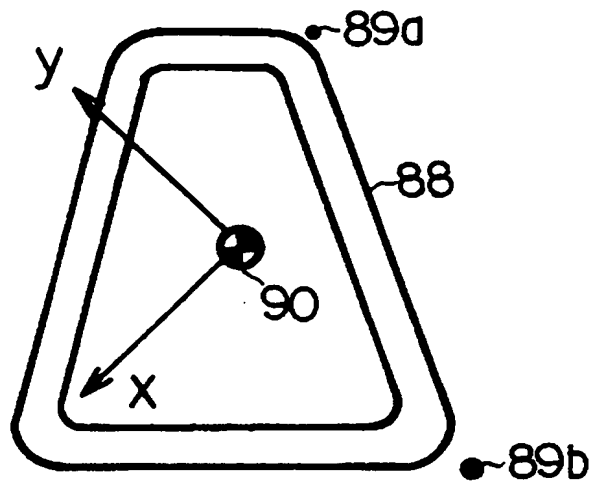
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】

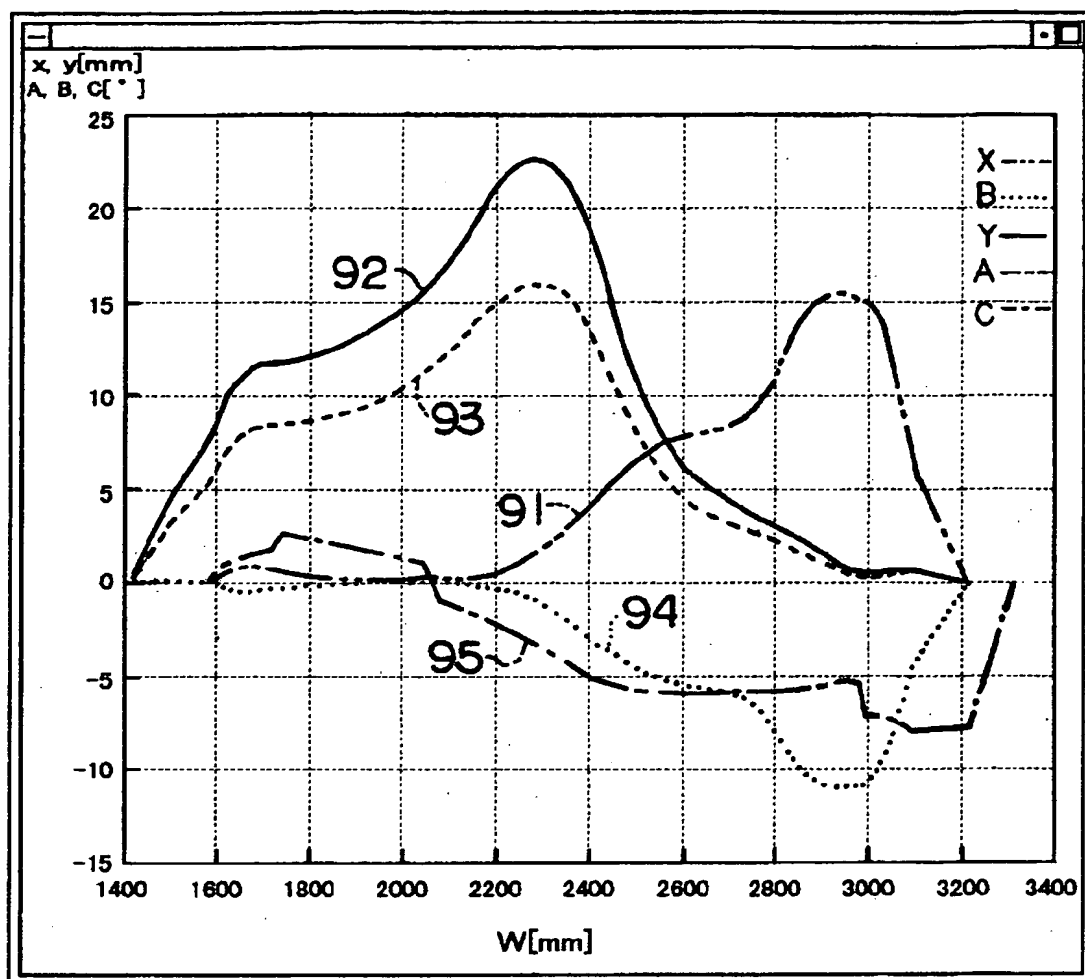


【図 1 3】

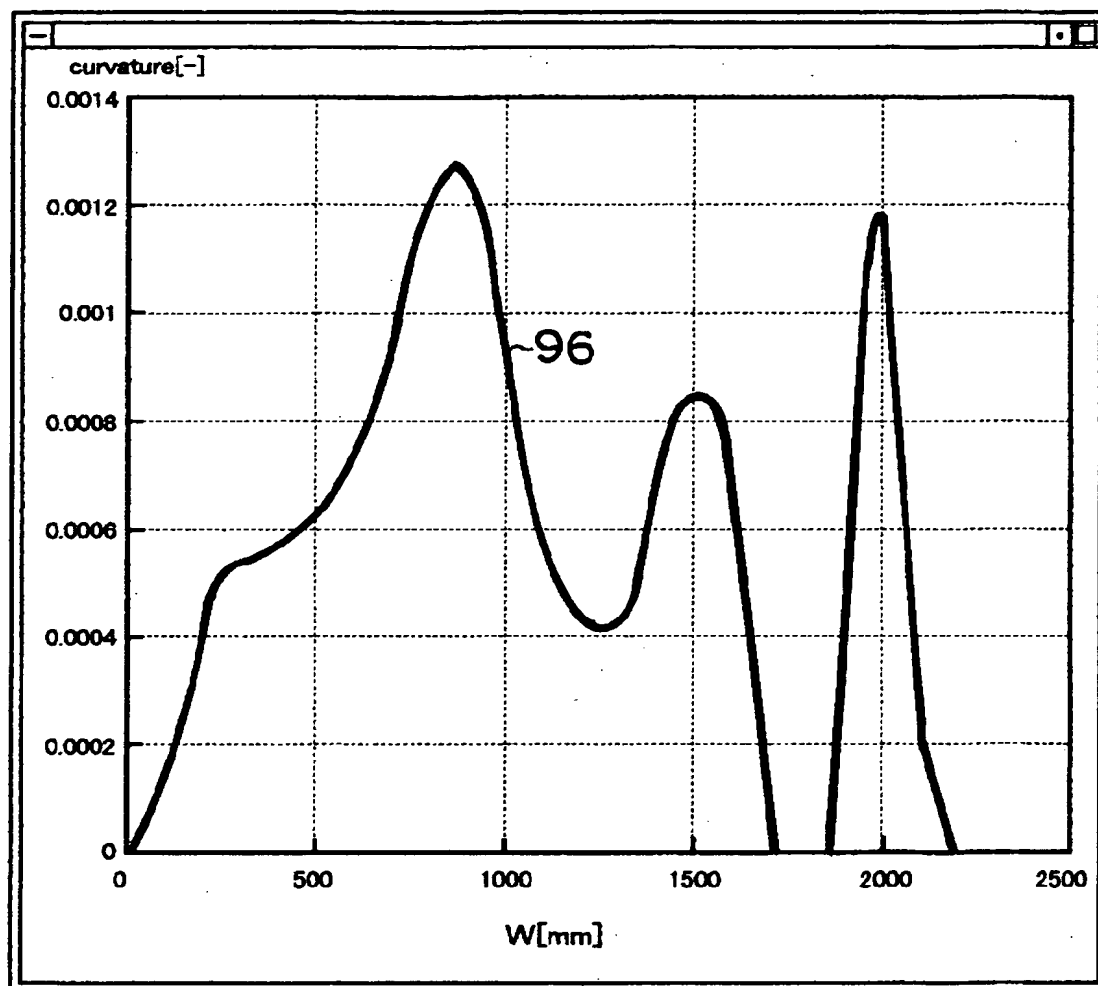
File Edit View Select Option									
N100	M12M10								
N120	G00	W-1293.000							
N140	G90G01	W-1423.000	F8000.000						
N150	G01	Z31.000	F8000.000						
N160	M35								
N170	M33								
N180	G90G01	U-18.000	F8000.000						
N1000	G90G01	X0.000	B0.000	Y0.446	A0.159	C0.000	W-1424.000	F6000.000	
N1001	G90G01	X0.000	B0.000	Y4.409	A3.157	C0.000	W-1504.072	F8000.000	
N1002	G90G01	X0.000	B0.000	Y7.376	A5.279	C0.000	W-1584.107	F6000.000	
N1003	G90G01	X0.090	B-0.065	Y8.515	A8.092	C0.7091	W-1601.907	F6000.000	
N1004	G90G01	X0.448	B-0.322	Y9.588	A8.844	C0.847	W-1619.706	F6000.000	
N1005	G90G01	X0.675	B-0.485	Y10.353	A7.404	C1.001	W-1637.501	F6000.000	
N1006	G90G01	X0.800	B-0.576	Y10.922	A7.810	C1.1697	W-1655.297	F6000.000	
N1007	G90G01	X0.819	B-0.589	Y11.315	A8.090	C1.3517	W-1673.088	F6000.000	
N1008	G90G01	X0.746	B-0.537	Y11.544	A8.253	C1.5281	W-1690.880	F6000.000	
N1009	G90G01	X0.651	B-0.468	Y11.628	A8.314	C1.6744	W-1708.688	F6000.000	
N1010	G90G01	X0.578	B-0.416	Y11.664	A8.339	C1.7752	W-1726.456	F6000.000	
N1011	G90G01	X0.516	B-0.372	Y11.731	A8.387	C2.584	W-1744.242	F6000.000	



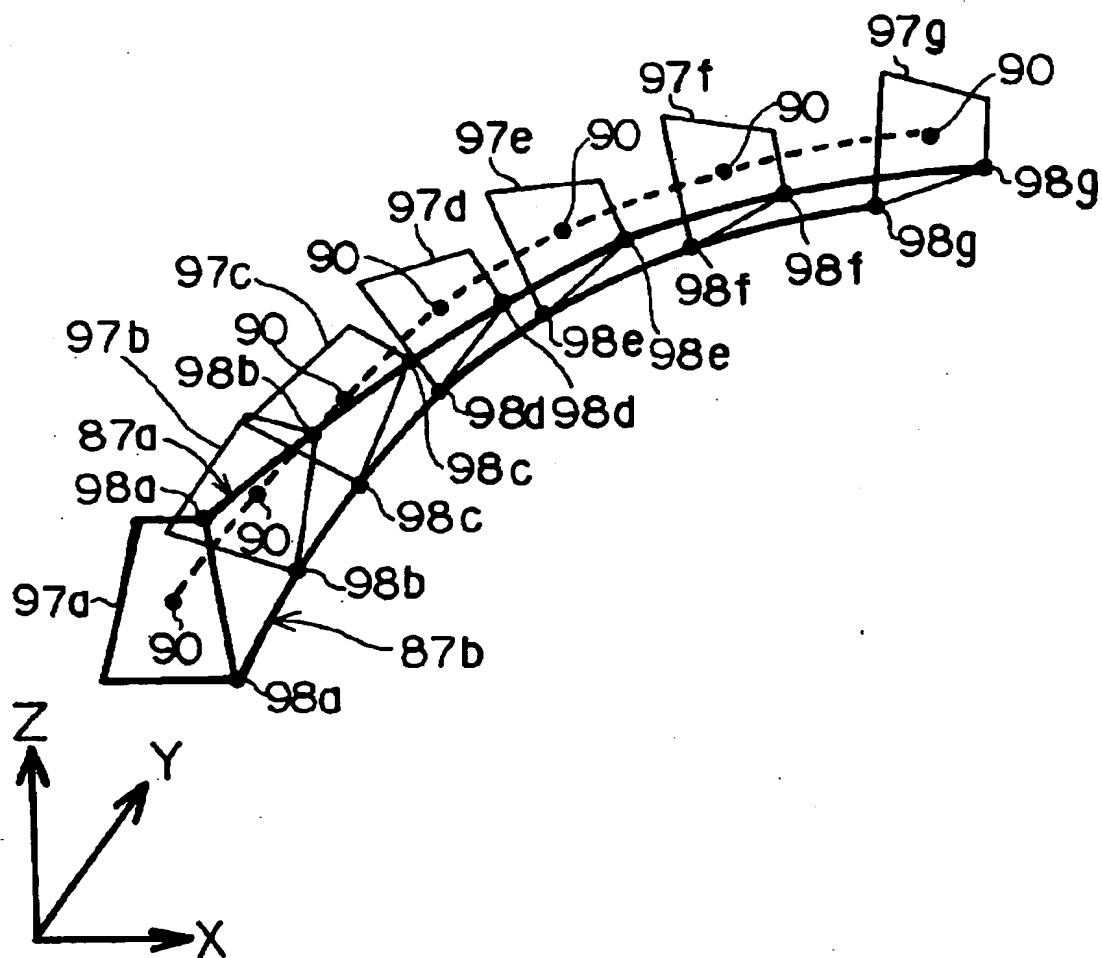
【図 1 4】



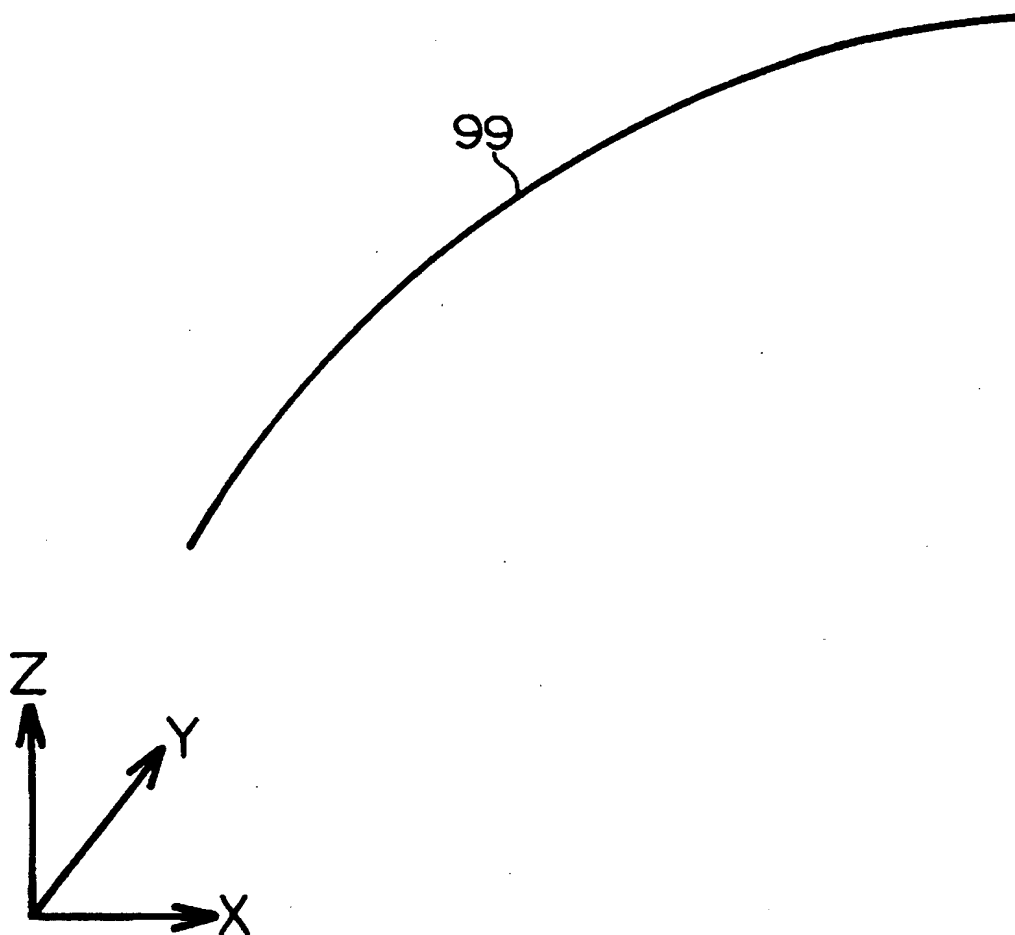
【図 1 5】



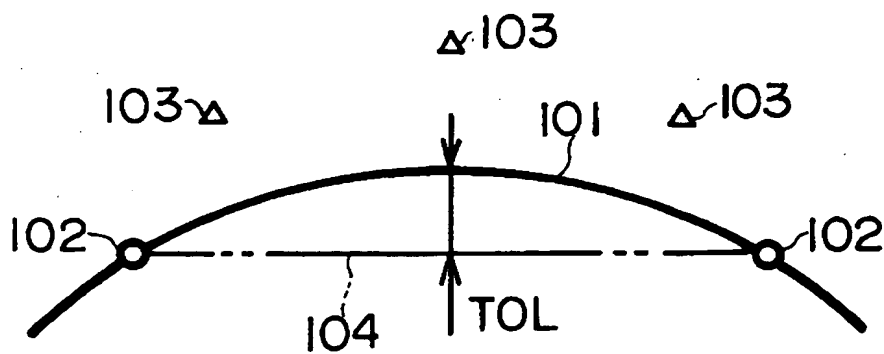
【図 1 6】



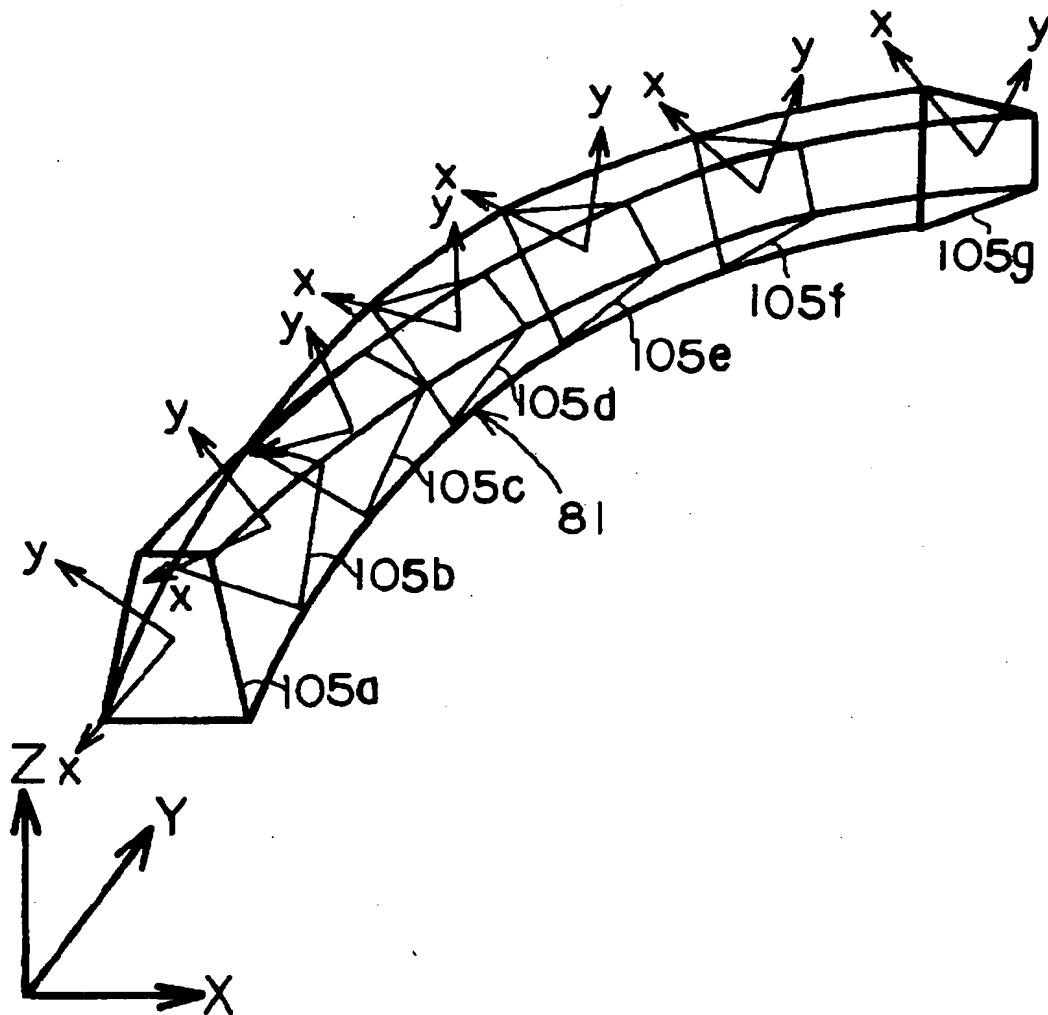
【図 1 7】



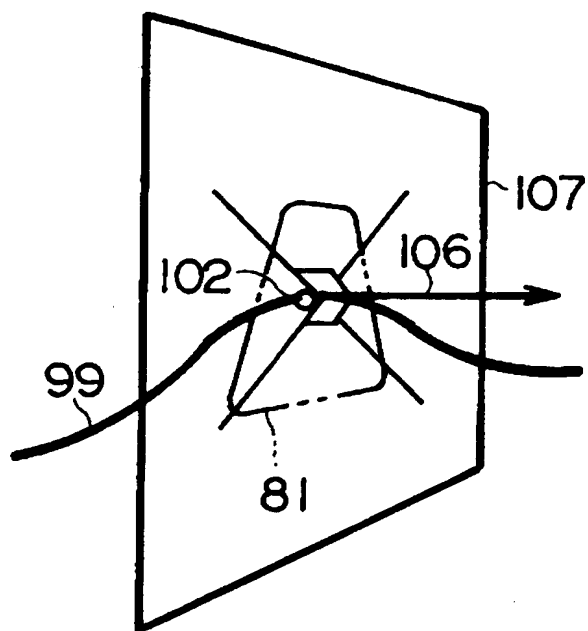
【図 1 8】



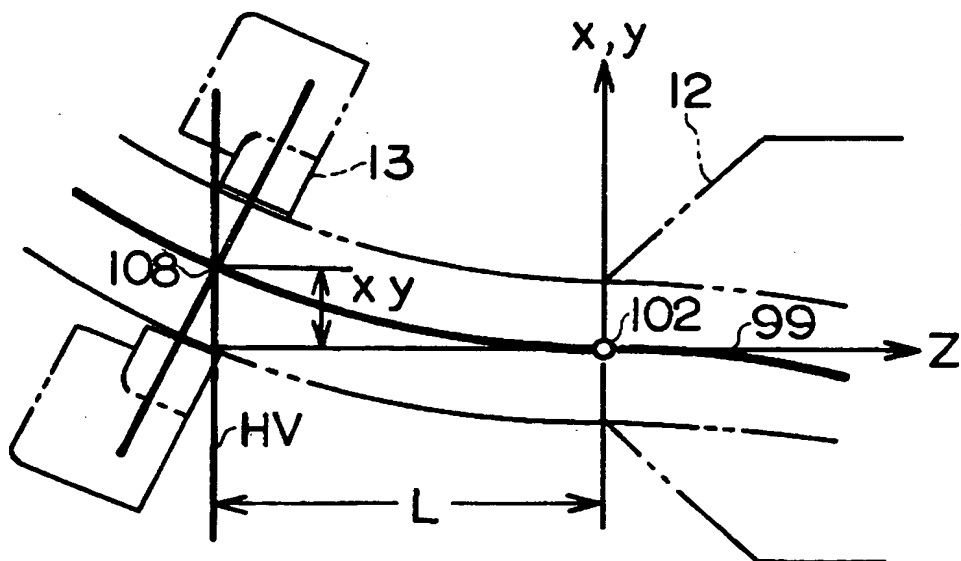
【図 1 9】



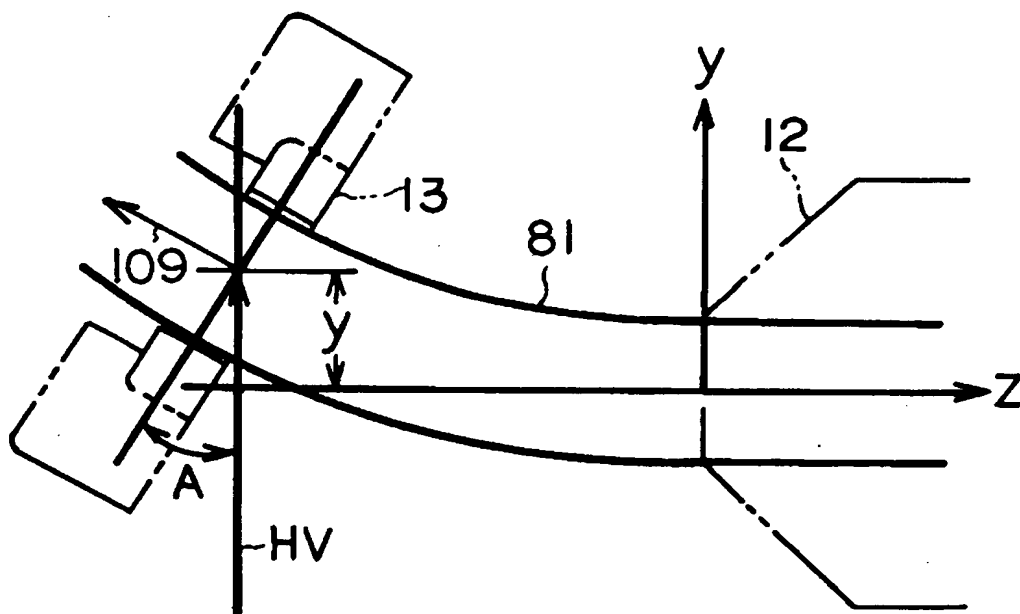
【図 2 0】



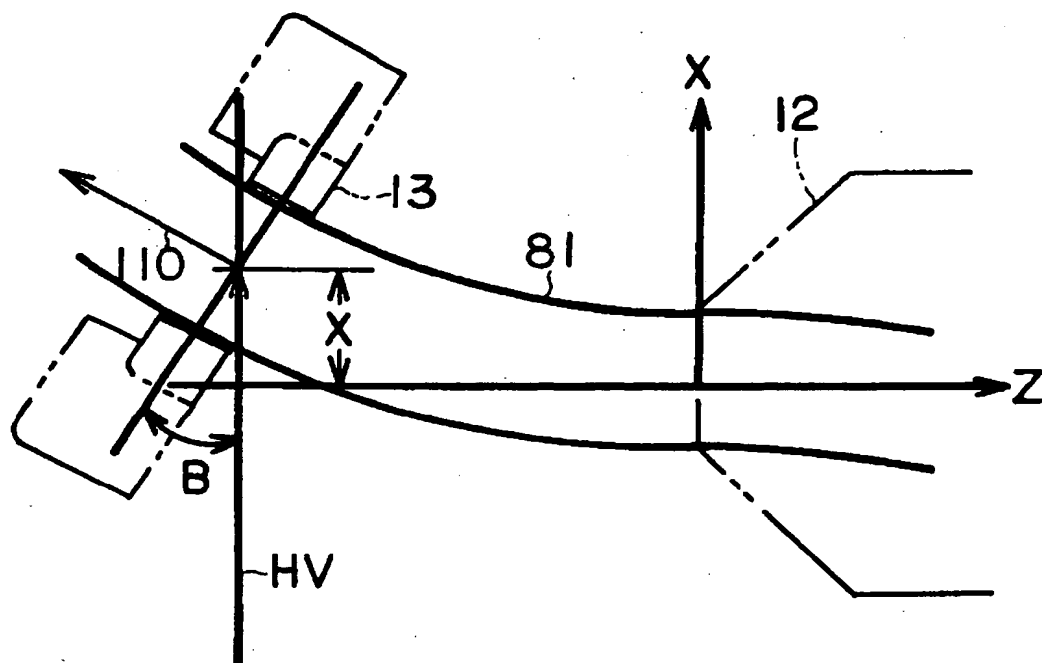
【図 2 1】



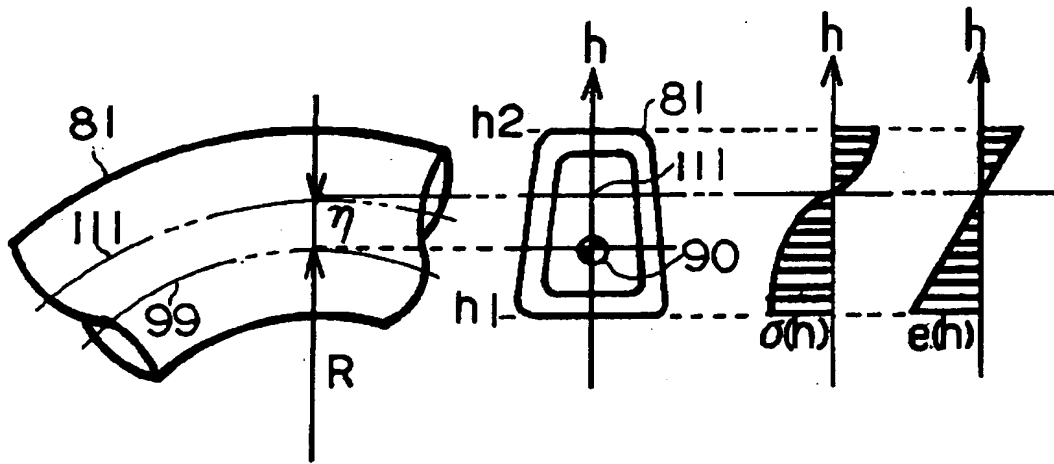
【図 2 2】



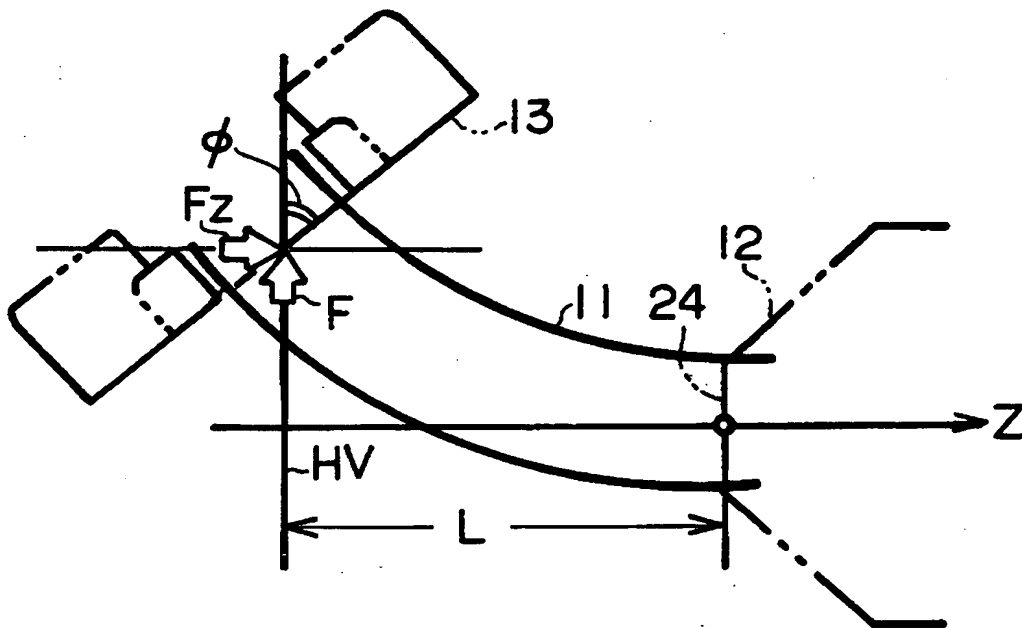
【図 2 3】



【図 2 4】

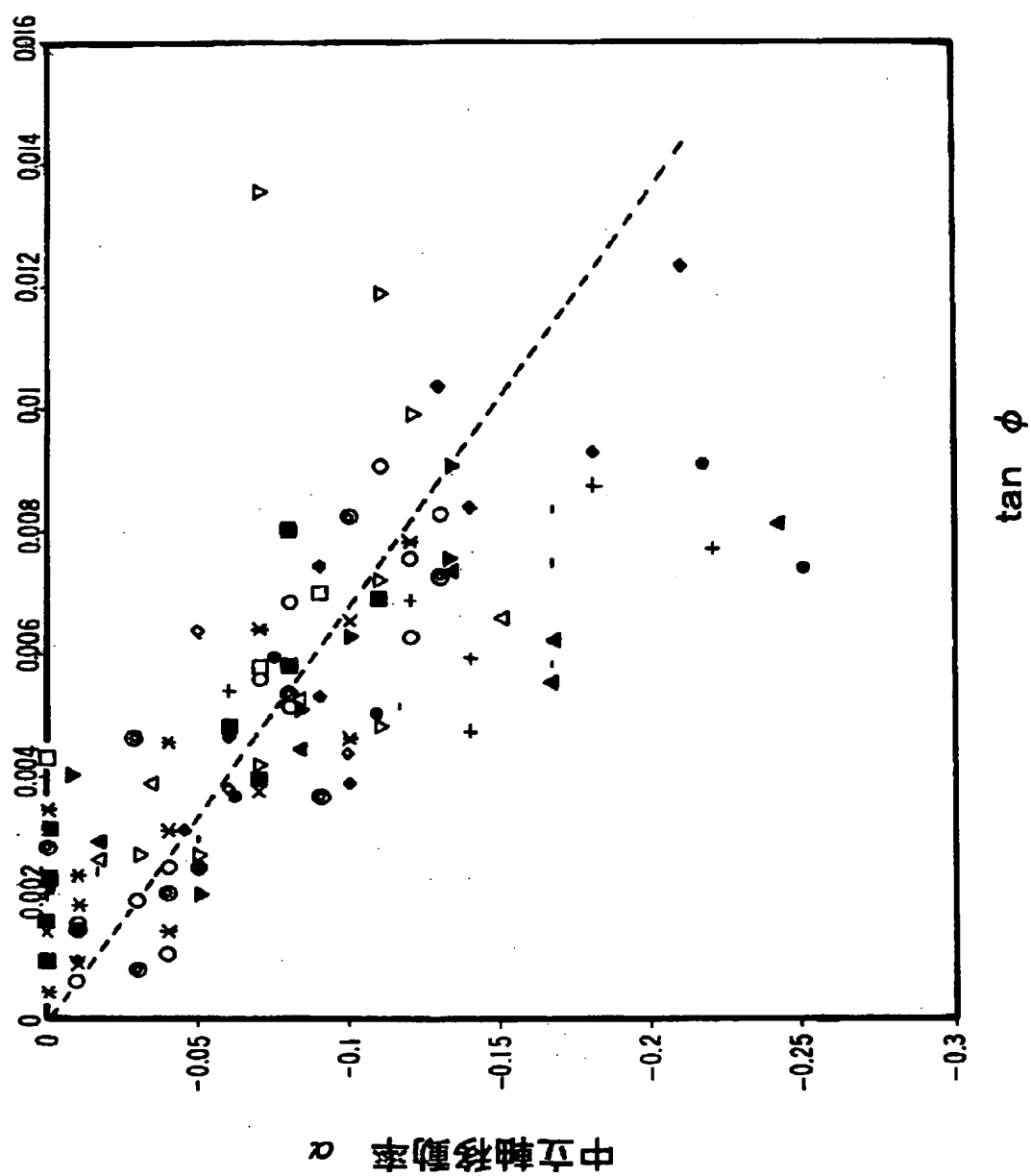


【図 2 5】

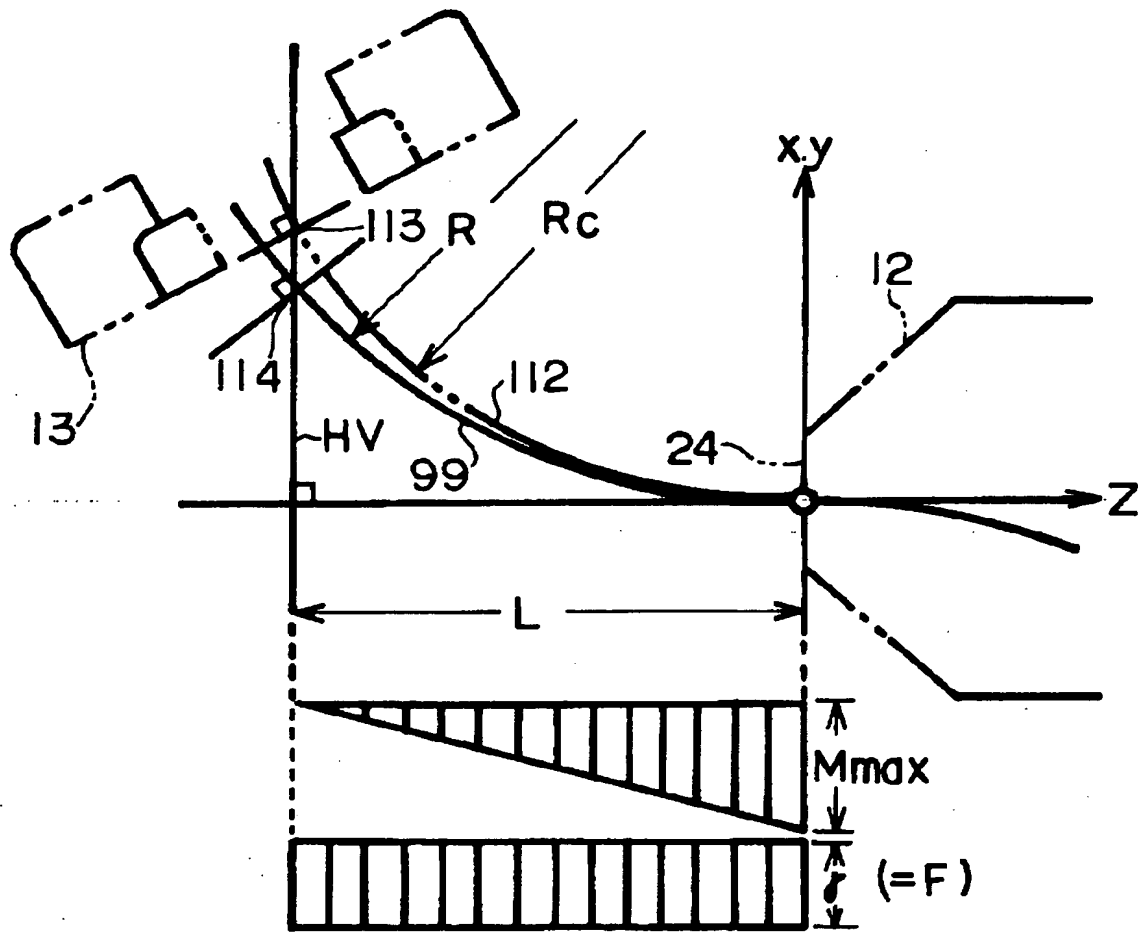




【図 2 6】

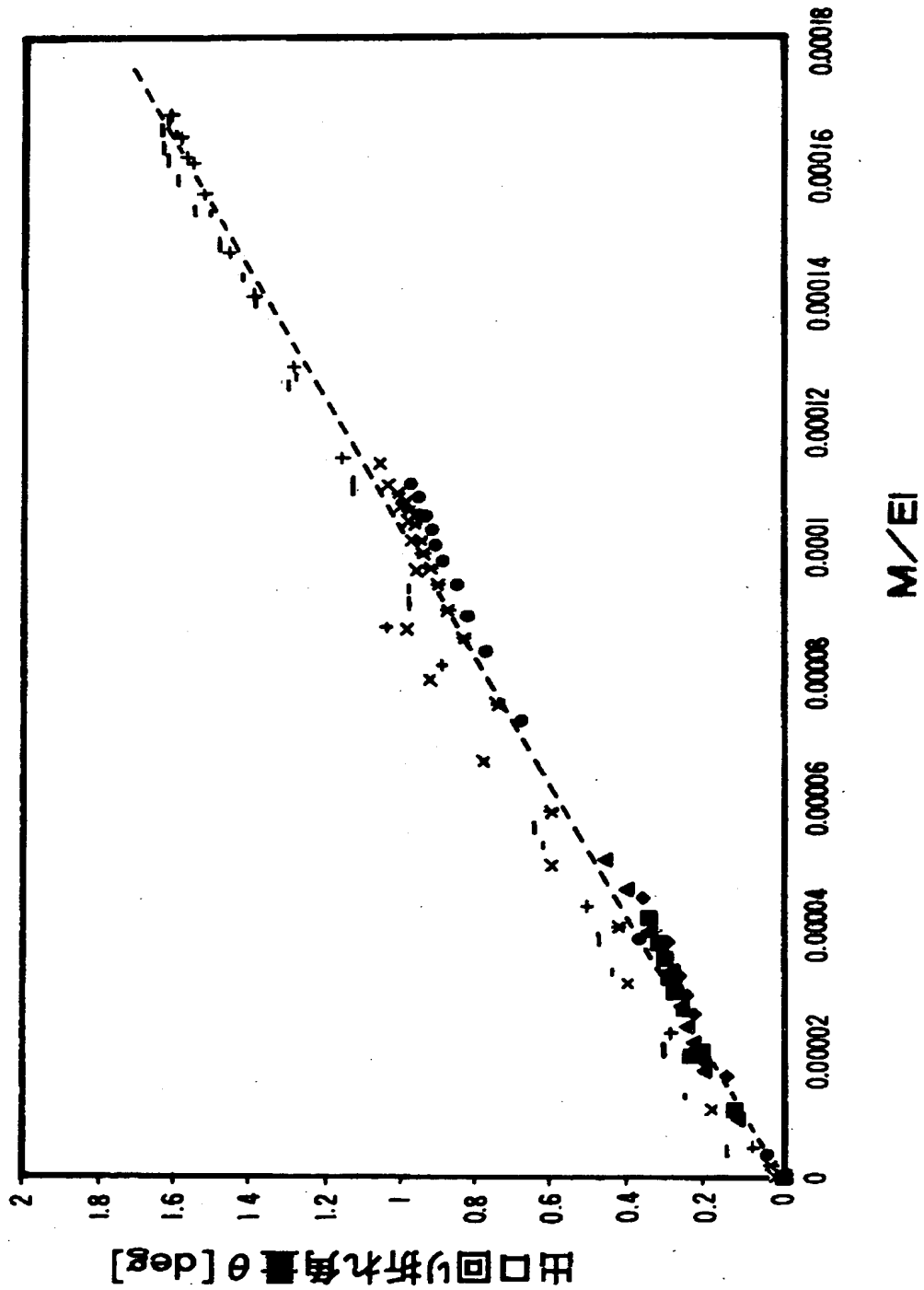


【図 27】

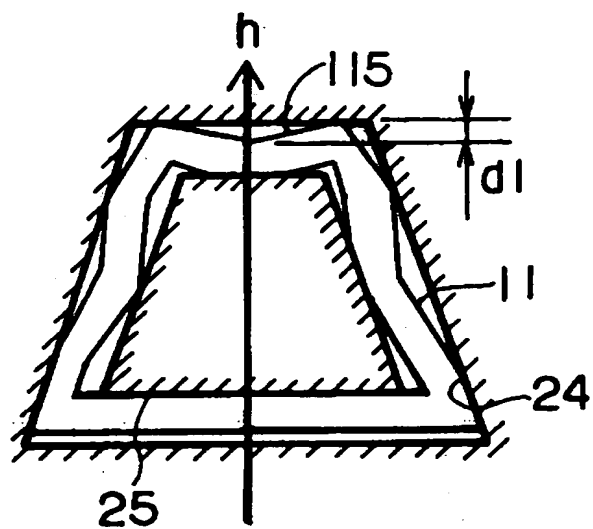




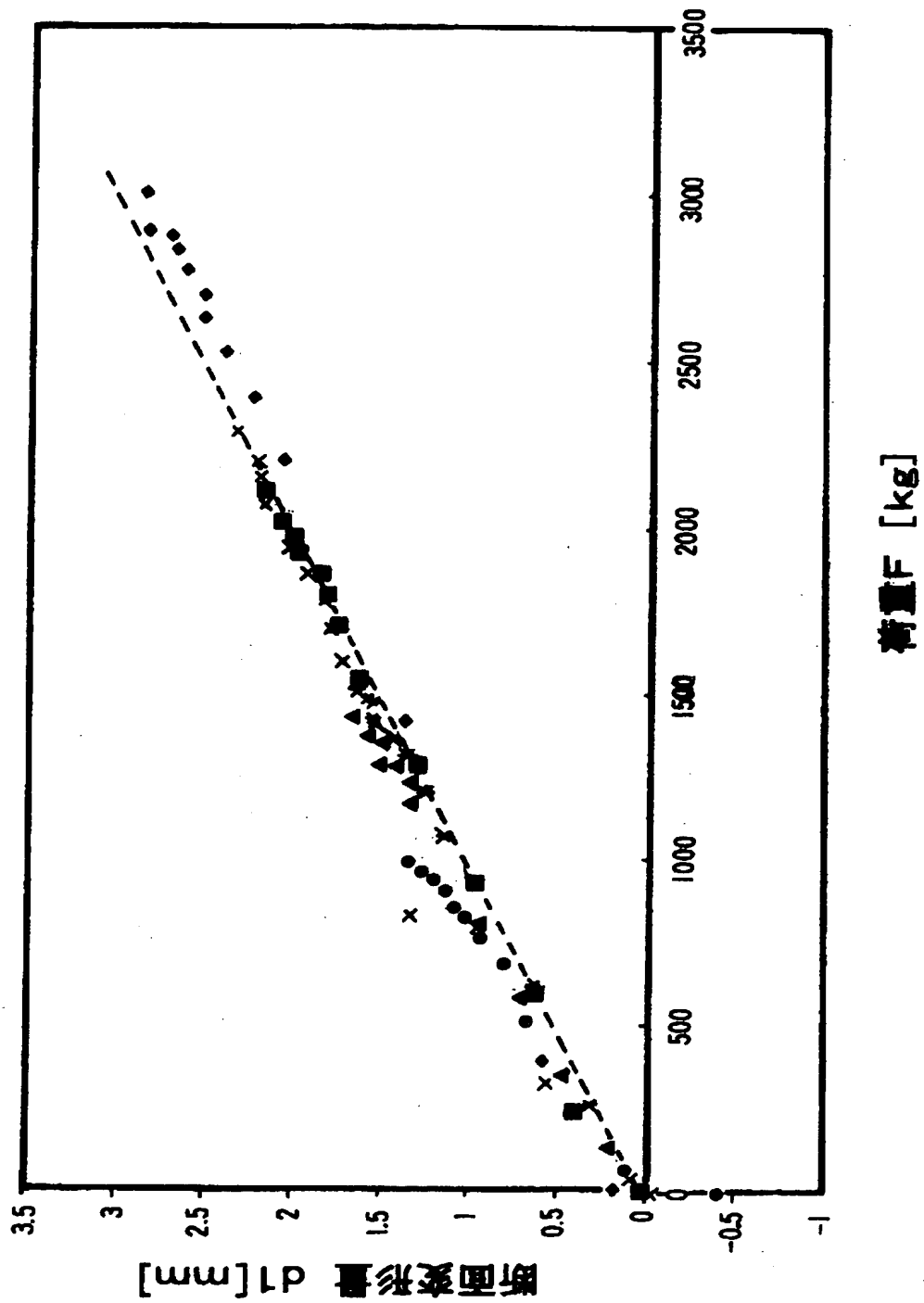
【図 2 9】



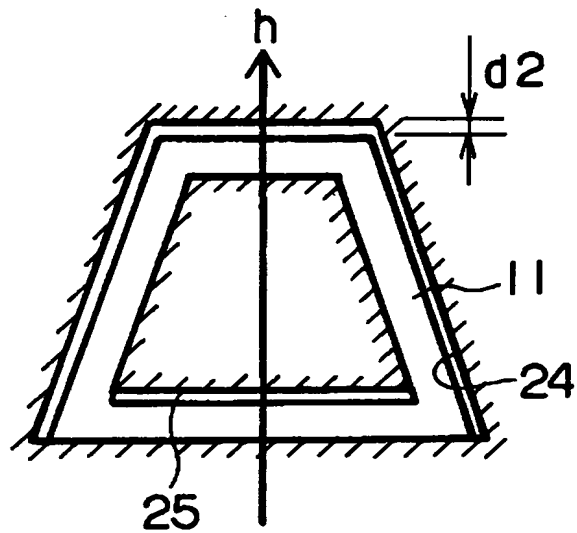
【图 3 0】



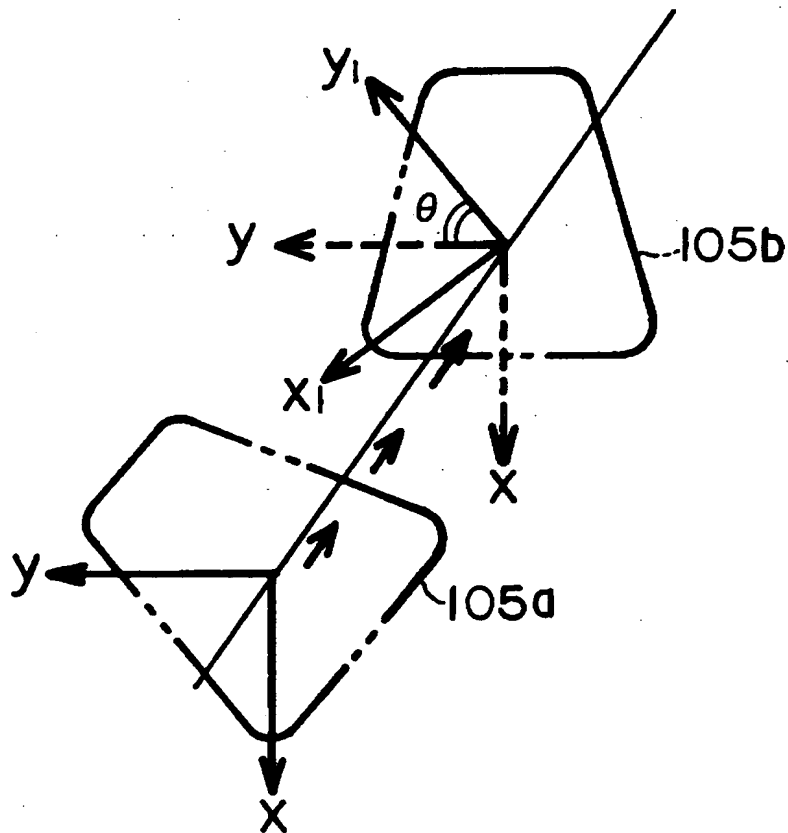
【図 3 1】



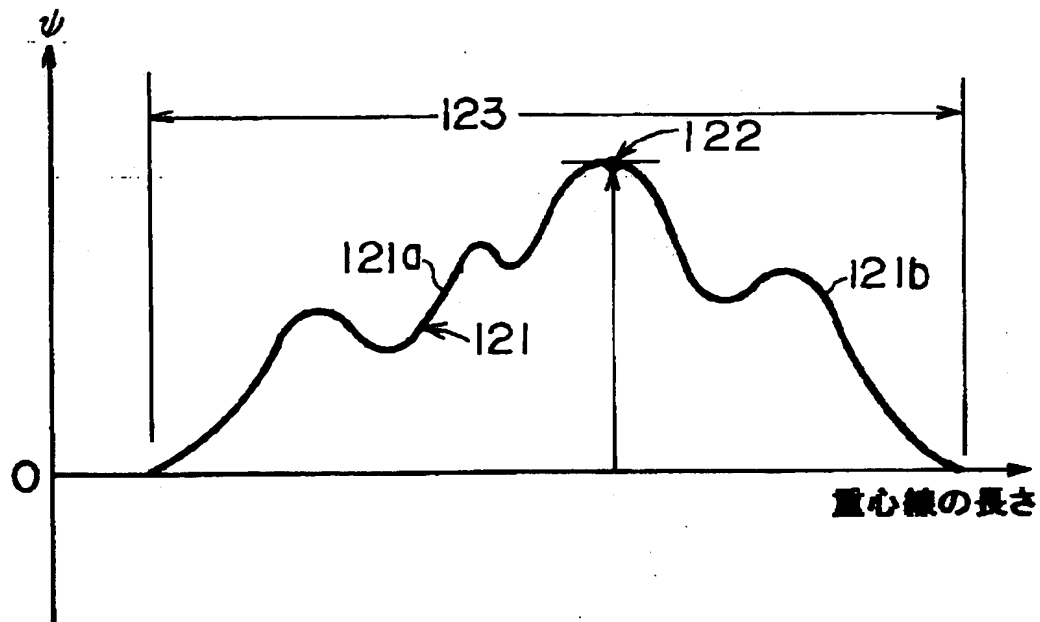
【图 3 2】



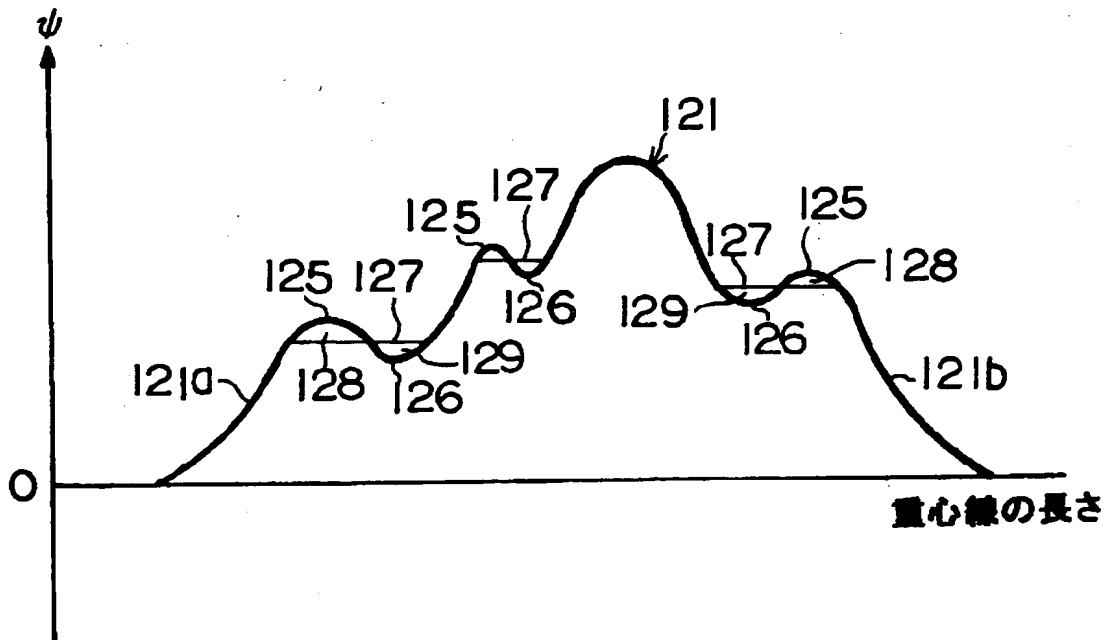
【图 3 3】



【図 3 4】

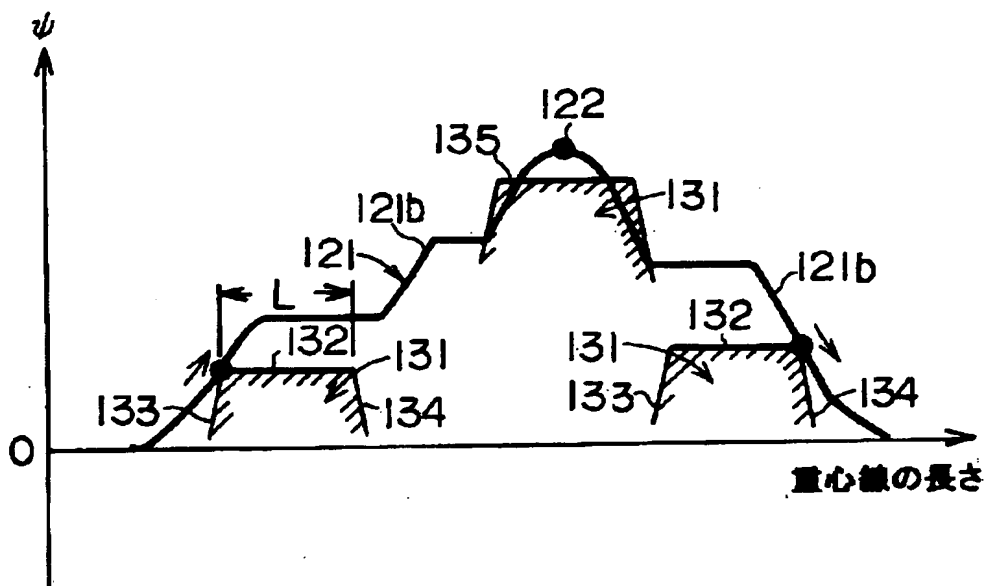


【図 3 5】

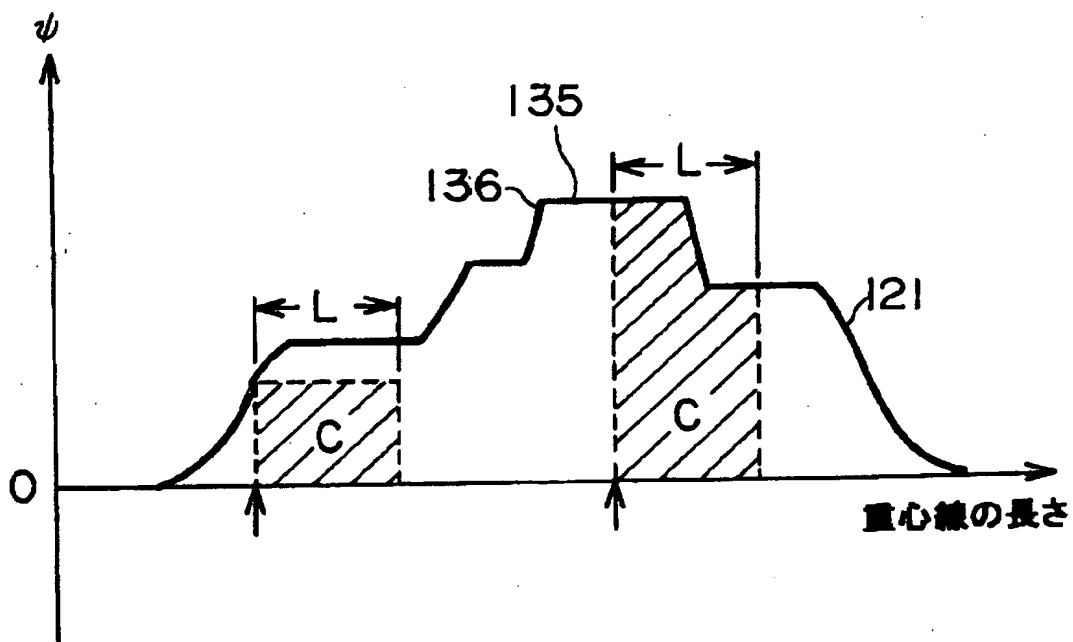




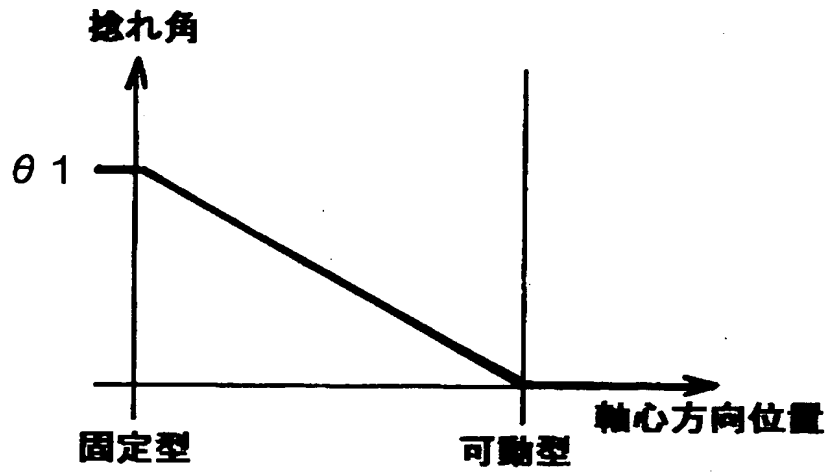
【図 3 6】



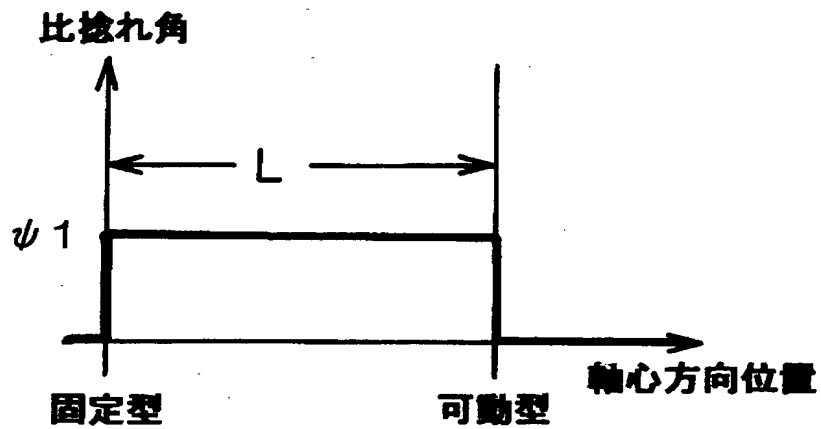
【図 3 7】



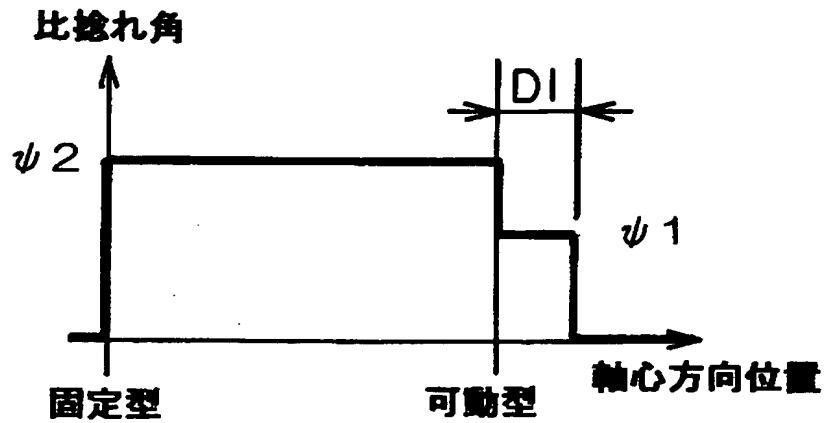
【図 3 8】



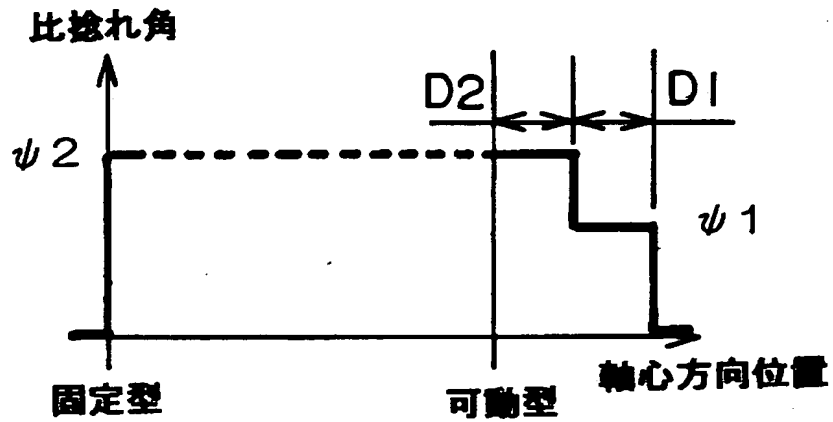
【図 3 9】



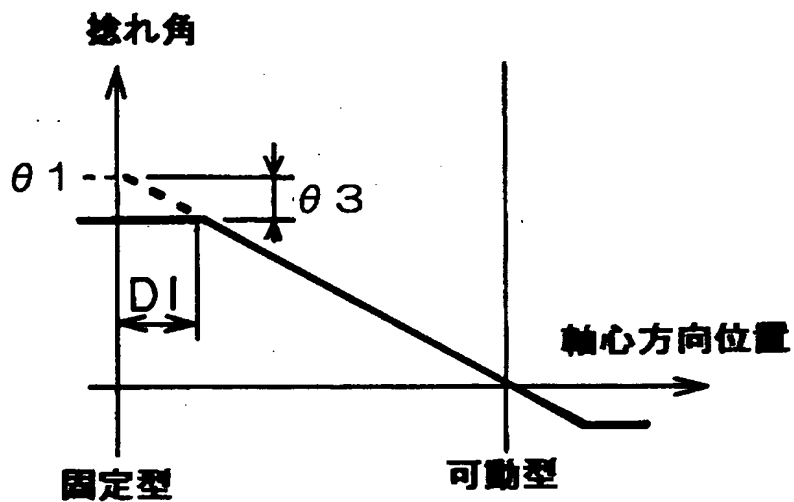
【図 4 0】



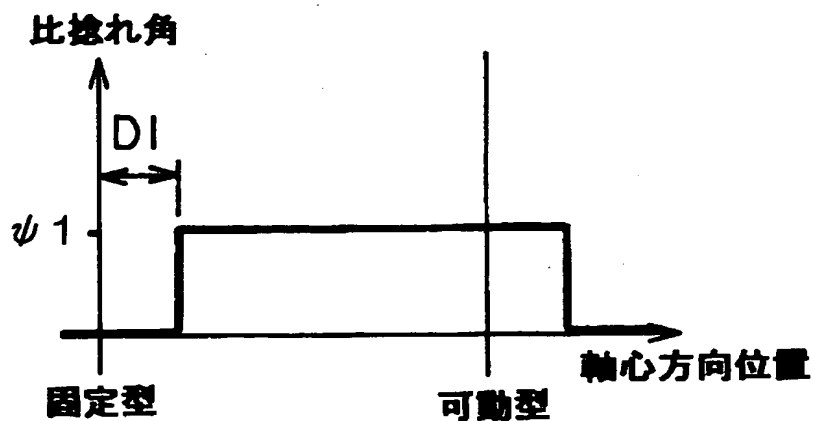
【図 4 1】



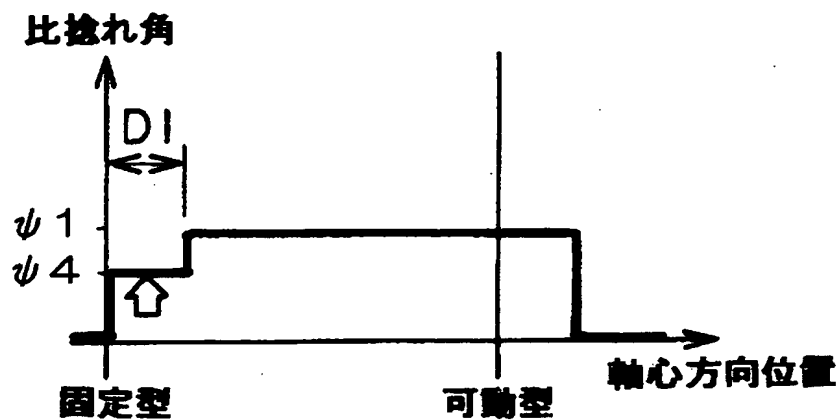
【図 4 2】



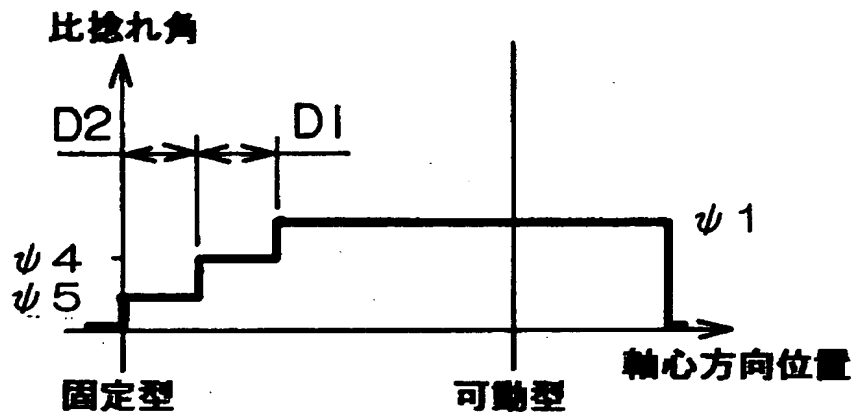
【図 4 3】



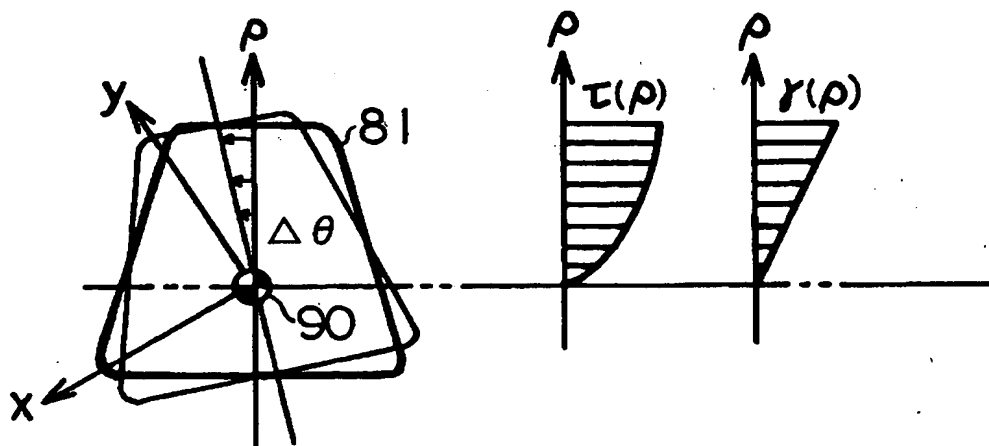
【図 4 4】



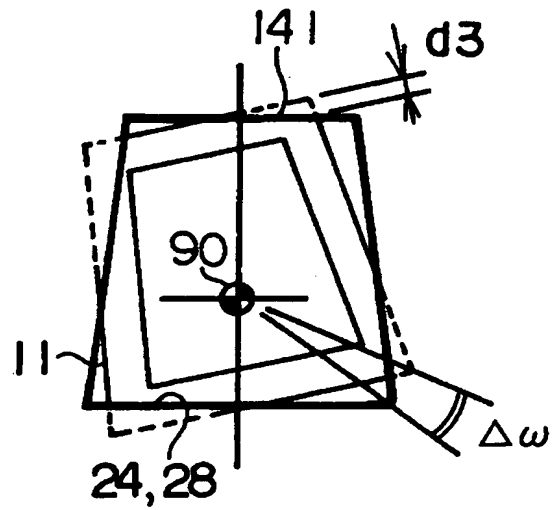
【図 4 5】



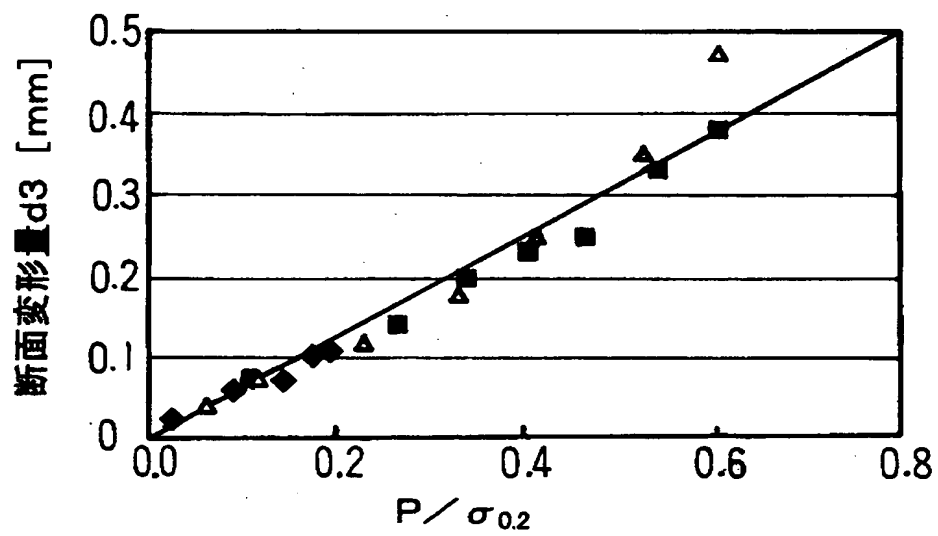
【図 4 6】



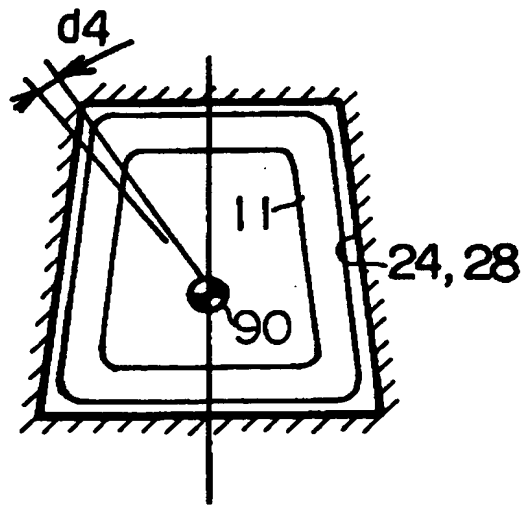
【図 4 7】



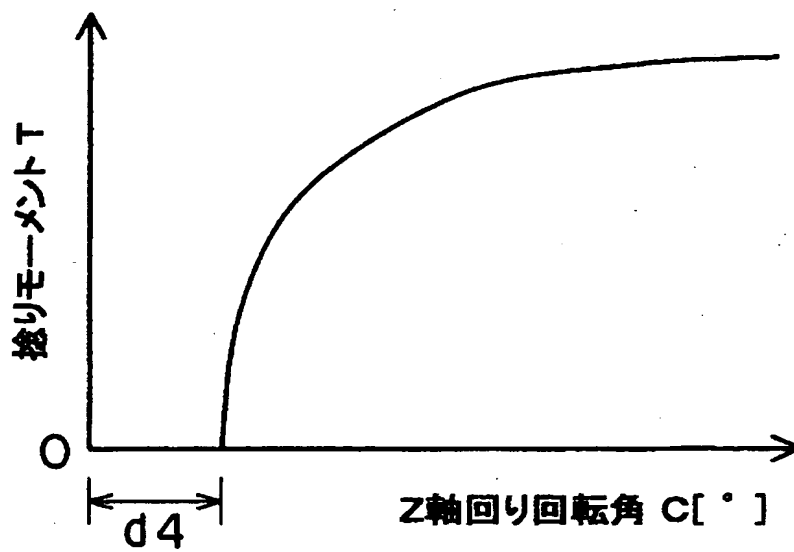
【図 4 8】



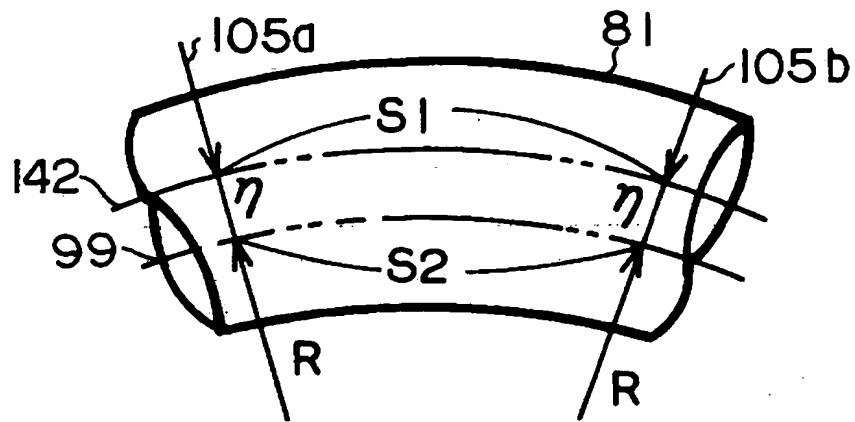
【図 4 9】



【図 5 0】



【図 5 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高い精度で押し通し曲げ加工を実現することが可能な押し通し曲げ加工システムを提供する。

【解決手段】 押し通し曲げ加工機 1 0 は、固定型および可動型を相次いで通過する長尺材に曲げ加工を施し長尺製品を作り出す。コンピュータ装置 4 3 は、全体座標系に従って長尺製品の形状を表現する形状データを取得すると、長尺製品の三次元像上で長尺製品の断面ごとに局部座標系を設定する。こうした局部座標系に基づき可動型の位置は特定される。コントローラ 4 2 は、特定された可動型の位置に基づき可動型の動きを制御する。

【選択図】 図 4



出 願 人 履 歷 情 報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都港区南青山二丁目1番1号  
氏 名 本田技研工業株式会社